－目 次－

内　　容

〔No.1〕関係法規

〔No.2〕公共測量

〔No.3〕安全対策

〔No.4〕誤差論

〔No.5〕機器①TS 等

〔No.6〕基準点測量

〔No.7〕GNSS 測量

〔No.8〕多角測量

〔No.9〕機器②水準儀(レベル)

〔No.10〕水準測量

〔No.11〕地形測量

〔No.12〕写真測量

〔No.13〕地図編集

〔No.14〕応用測量

〔No.15〕機器③応用測量用

〔No.16〕路線測量

〔No.17〕河川測量

〔No.18〕用地測量

〔No.19〕GIS

〔No.20〕作業規程の準則

〔No.21〕航空レーザ測量

測量士

〔No.1〕関係法規

測量法(昭和 24 年法律第 188 号)

第 1 章総則
第 1 節目的・用語

法規①
○測量法第1条
国，公共団体が費用を負担，一部負担
実施基準，実施に必要な権能を定めて行う
測量の重複を除く
正確さの確保
測量業を営む者の登録を実施
(5年更新とし，建設大臣に登録申請書を提出)
業務規制等により，測量業の適正運営と健全な発達を図る
各種測量の調整，測量制度の改善，発達を目的とする

法規②
○第3条(測量の定義)
・測量とは，土地測量，地図調製，測量用写真撮影を含む

法規③
○第4条(基本測量)
全ての測量の基礎となる測量
国土地理院が行うもの

法規④
○第5条(公共測量)…政令第 1 条 1～3 号
(次の測量を除く)
建物の測量
縮尺 1/百万以下の地図調製
横断面測量
(定義)
・政令で定めるものを除き，費用を国，公共団体が一部又は全部を負担する測量を「公共測量」という。

法規⑤ 政令第 1 条第 4 号
○公共測量の条件
測量計画機関が国，公共団体であること
基準点を2点以上使用すること
一定以上の精度を確保すること
基本測量，公共測量の成果に基づき行うこと
作業規程を定め，国土交通大臣の承認を得て,使用，実施する

法規⑥ 政令第 1 条 4 号
○公共測量の精度
三角測量
角度の閉合差:90″以内
辺長較差:その辺長の 1/2,000 以内
多角測量
座標閉合比:1/1,000 以内
水準測量
閉合差:$5\text{cm}\sqrt{S}$以内
地形測量，平面測量
図上平面位置誤差:2mm 以内

法規⑦ 政令第 1 条 5 号
○公共測量の規模
()内は北海道を示す
7k ㎡(10k ㎡)以上の三角測量，多角測量，平面測量
6km(10km)以上の多角測量
10km(10km)以上の水準測量
7k ㎡以上の面積の地形・平面測量

法規⑧
第6条(基本測量及び公共測量以外の測量)
4・5 条以外の測量で基本・公共測量の成果を使用するもの。
(→以下「**以外の測量**」ということにする。)

法規⑨
第 7 条・第 8 条
(測量計画機関)第 5・第 6 条の測量を計画する者
(測量作業機関)測量計画機関の指示・委託を受けて測量作業を実施する者

法規⑩
第9条
(測量成果)測量の最終目的で得られた結果
(測量記録)測量成果を得る過程で得た作業記録

法規⑪
第 10 条(測量標)
永久標識(三角点標石、水準点標石、その他金属標)…(永久保存)
一時標識(測標等)…(数年保存)
仮設標識(標旗、仮杭)…(数月保存)

法規⑫
第 10 条の 2**(測量業)**
基本・公共・以外の測量を請け負う営業

法規⑬
第 10 条の 3**(測量業者)**
登録を受けて測量業を営む者

第 2 節測量の基準

法規⑭

第 11 条(測量の基準)

位置は，**地理学的経緯度と平均海面**からの高さで表示。
地理学的経緯度は世界測地系で測定する。
又は**直角座標及び平均海面からの高さ**で表示でき，
又は，**極座標と平均海面からの高さ**
又は**地心直交座標**で表示できる。
距離・面積は回転楕円体の表面上で表示する。
測量の原点は，日本経緯度原点と日本水準原点とする。→政令 2 条

(国際基準)世界測地系(政令第 2 条の 2)

長半径:6378137m
扁平率(1/f):f＝298.25722201
その中心が地球の重心と一致する
その短軸が地球の自転軸と一致する

第 2 章基本測量

第 1 節計画・実施

法規⑮

第 12 条**(長期計画)**

国土交通大臣は基本測量に関する **10 年**ごとに長期計画を定めなければならない。

法規⑯

第 13 条(資料・報告の要求)

基本測量のため行政機関に資料・報告を求めることができる。

法規⑰

第 14 条**(実施の公示)**

国土地理院長は基本測量を実施しようとするときは，地域、期間等を関係都道府県知事に**通知**しなければならない。
終了したときも，同様にその旨を**通知**しなければならない。
関係都道府県知事は，その**通知を公示**しなければならない。
→基本測量実施の前提

法規⑱

第 15 条**(土地の立入・通知)**

国土地理院の長又は名を受けた者は，基本測量のため国有・公有・私有の土地に立ち入ることができる。
宅地・かき・さく等で囲まれた土地に立ち入る場合，占有者に通知しなければならない。
土地の立入の際には、身分証明証を携帯しなければならない。

法規⑲

第 16 条**(障害物の除去)**

国土地理院の長又は命・委任を受けた者は，あらかじめ所有者(占有者)の承諾を得て，障害物(かき・さく)を伐除できる。

第 17 条(承諾なしでの障害物の除去)

(1)国土地理院の長等は，あらかじめ所有者(占有者)の承諾を受けることが困難であり，かつ，植物，かき，さく等の現状を著しく損傷しないときは，承諾を得ないで，これらを伐除できる。
(2)遅滞なく，その旨を所有者(占有者)に通知しなければならない。

法規⑳

第 18 条**(土地の一時使用)**

国土地理院の長等は，基本測量の仮設標識を設置する必要がある場合，あらかじめ所有者(占有者)に通知して，土地，樹木，工作物を一時使用することができる。

法規㉑

第 19 条**土地の収用・使用**(土地収用法(昭 26 法 219))

政府は，基本測量を実施するために，土地，建物，樹木，工作物を収用・使用できる。

法規㉒

第 21 条(永久標識・一時標識の通知)

国土地理院の長は，永久標識・一時標識を設置した場合，その種類・所在を関係都道府県知事に通知しなければならない。
都道府県知事はその旨を関係市町村長(特別区区長)に通知しなければならない。
市町村長は，永久標識・一時標識について滅失，破損その他異常を発見したときには，国土地理院の長に通知しなければならない。

法規㉓

第 22 条**(測量標の保全)**

移転，毀損，その他の行為により基本測量の測量標を害してはならない。
罰則→第 61 条 2 年以下の懲役又は 100 万円以下の罰金。

法規㉔

第 23 条(永久標識・一時標識の移転・撤去・廃棄)

国土地理院の長は，永久標識・一時標識の移転・撤去・廃棄を行ったときには，関係都道府県知事及び敷地の所有者(占有者)に通知しなければならない。
都道府県知事は関係市町村に通知しなければならない。
インターネット等により公表する。

法規㉕
第 24 条(測量標の移転請求)
永久標識・一時標識の毀損等の恐れのある行為をしようとする者は，理由を詳記した書面をもって関係都道府県知事を経由して(国・都道府県の場合は直接に)国土地理院の長に標識移転の請求を行うことができる。
都道府県知事は，請求の書面を受け取ったときには意見を付して、送付しなければならない。
国土地理院の長は，請求に理由があると認めるときには標識を移転し，理由がないときにはその旨を移転請求した者に通知しなければならない。
移転に要する費用は，請求者が負担しなければならない。

法規㉖
第 26 条**(測量標の使用)**
基本測量以外の測量を実施する場合，国土地理院の長の承諾を得て，測量標を使用することができる。

第 2 節測量成果
法規㉗
第 27 条(測量成果の公表・保管)
国土交通大臣は，基本測量の測量成果を得たときは，測量の種類，精度，実施時期等を官報で公告しなければならない。
国土交通大臣は，基本測量の測量成果のうち地図その他必要なものを刊行しなければならない。
国土地理院の長は，基本測量の成果，測量記録を保管し，一般の閲覧に供しなければならない。
法規㉘
第 28 条**(成果の公開)**
基本測量の測量成果・記録を閲覧し，その謄本・抄本の交付を求める場合，省令の手続きにより行う。
謄本・抄本には手数料を納めなければならない。

法規㉙
第 29 条**(測量成果の複製)**
基本測量の測量成果のうち，地図その他の図表，成果表，写真又は成果を記録した文書(電磁的記録)を測量の用に供し，刊行し，又は電磁的方法であつて国土交通省令で定めるものにより不特定多数の者が提供を受けることができる状態に置く措置をとるために複製しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、あらかじめ、国土地理院の長の承認を得なければならない。
→第 64 条 29 条違反:30 万円以下の罰金

法規㉚第 30 条**(測量成果の使用)**
基本測量の測量成果を使用して基本測量以外の測量を実施しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、あらかじめ、国土地理院の長の承認を得なければならない。
国土地理院の長は，前項の承認の申請があつた場合において，次の各号のいずれにも該当しないと認めるときは、その承認をしなければならない。
一　申請手続が法令に違反していること。　二　当該測量成果を使用することが当該測量の正確さを確保する上で適切でないこと。
第 1 項の承認を得て測量を実施した者は、その実施により得られた測量成果に基本測量の測量成果を使用した旨を明示しなければならない。
基本測量の測量成果を使用して刊行物を刊行し，又は当該刊行物の内容である情報について電磁的方法であつて国土交通省令で定めるものにより不特定多数の者が提供を受けることができる状態に置く措置をとろうとする者は，当該刊行物にその旨を明示しなければならない。

法規㉛
第 31 条(測量成果の修正)
国土地理院の長は，地殻，地貌，地物の変動等により，基本測量の測量成果が現況に合わなくなった場合，その測量成果を修正しなければならない。

第 3 章公共測量
第 1 節計画・実施
法規㉜
第 32 条**(公共測量の基準)**
公共測量は，基本測量・公共測量の測量成果に基づいて実施しなければならない。
○GRS80 楕円体
長半径:6378137m
扁平率(1/f):f＝298.25722201

法規㉝
第 33 条**(作業規程)**
1. 測量計画機関は，公共測量を実施しようとするときは，当該公共測量に関し観測機械の種類，観測法，計算法その他国土交通省令で定める事項を定めた作業規程を定め，あらかじめ，国土交通大臣の承認を得なければならない。これを変更しようとするときも，同様とする。

2. 公共測量は，前項の承認を得た作業規程に基づいて実施しなければならない。

〇作業規程
国土交通大臣の承認を得る
測量計画機関は，公共測量実施（変更）時に作業規程を定める
観測機器種類
観測法
計算法
作業規程の準則

〇技術的助言：
計画機関は，国土地理院長の技術的助言を受ける
測量の正確さを確保するため
測量の重複を防止するため
測量の能率向上と規模を統一するため
測量成果の有効利用を図るため

〇申請（作業前）
公共測量作業規程承認申請書の提出
公共測量実施計画書の提出
測量標使用申請書の提出
（故障の有無を確認するため）
測量成果使用申請書の提出
（測量の重複を調整するため）

〇申請（作業後）
公共測量成果の提出
永久標識設置報告書の提出
測量標異状報告書の提出

法規㉞
第 34 条**（作業規程の準則）**
国土交通大臣は，作業規程の準則を定めることができる。

法規㉟
第 35 条（公共測量の調整）
国土交通大臣は，測量の正確さを確保し，又は測量の重複を除くためその他必要があると認めるときは，測量計画機関に対し，公共測量の計画若しくは実施について必要な勧告をし，又は測量計画機関から公共測量についての長期計画若しくは年度計画の報告を求めることができる。

法規㊱
第 36 条（計画書についての助言）
測量計画機関は，公共測量を実施しようとするときは，あらかじめ，次に掲げる事項を記載した計画書を提出して，国土地理院の長の技術的助言を求めなければならない。その計画書を変更しようとするときも，同様とする。
一　目的，地域及び期間
二　精度及び方法

〇実施計画書の記入事項
測量の目的，地域，期間，精度，方法
使用測量成果の種類，内容
測量計画機関名，作業機関名（名称、代表者の氏名と所在地）
作業規程（承認関連事項）

〇使用する成果と意義
基本測量の成果
公共測量の成果
所定の精度を確保するため
測量規格を統一するため

〇成果の使用
基本測量の測量成果を使用する測量実施者は、
国土地理院長が測量成果の適切性を確認するための承認が必要
測量成果に使用する基本測量の測量成果の明示が必要

法規㊲
第 37 条（公共測量の表示）
1　公共測量を実施する者は，当該測量において設置する測量標に，公共測量の測量標であること及び**測量計画機関の名称を表示**しなければならない。
2 公共測量を実施する者は，関係市町村長に対して当該測量を実施するために必要な情報の提供を求めることができる。
3 測量計画機関は，公共測量において永久標識を設置したときは，遅滞なく，その種類及び所在地その他国土交通省令で定める事項を国土地理院の長に通知しなければならない。
4 測量計画機関は，自ら実施した公共測量の永久標識を移転し，撤去し，又は廃棄したときは，遅滞なく，その種類及び旧所在地その他国土交通省令で定める事項を国土地理院の長に通知しなければならない。

〇測量標の表示(37 条)
公共測量実施者は、設置測量標に表示
公共測量の測量標であること
測量計画機関の名称
〇測量標設置通知書(37 条)

永久標識の設置時，測量計画機関は国土地理院の長に通知
種類
敷地の所在
その他必要事項

〇測量標の通知(37 条)

永久標識，一時標識を設置した場合，
その種類，所在を
国土地理院長は知事に，
知事は市町村長に，通知する

法規㊳

第 38 条(国土地理院が実施する公共測量)
第 39 条(基本測量の規程の準用)

第2節測量成果

法規㊴

第 40 条(測量成果の提出)
1 測量計画機関は，公共測量の測量成果を得たときは，遅滞なく，その写を国土地理院の長に送付しなければならない。
2 国土地理院の長は，前項の場合において必要があると認めるときは，測量記録の写の送付を求めることができる。

〇成果の提出(40 条)

測量計画機関は，公共測量の測量成果を取得した時，その写しを国土地理院の長に送付する

法規㊵

第 41 条**(測量成果の審査)**
1 国土地理院の長は，測量成果の写の送付を受けたときは，すみやかにこれを審査して，測量計画機関にその結果を通知しなければならない。
2 国土地理院の長は，その審査の結果充分な精度を有すると認める場合においては，測量の精度に関し意見を附して，その測量の種類，実施の時期及び地域並びに測量計画機関・測量作業機関の名称を公表しなければならない。

法規㊶

第 42 条(測量成果の写しの保管及び閲覧)
1 国土地理院の長は，測量成果の写し・測量記録の写しを保管し，これらを一般の閲覧に供しなければならない。
2 前項に規定する測量成果の写し・測量記録の写しの謄本・抄本の交付を受けようとする者は，国土地理院の長に申請をしなければならない。この場合においては，第二十八条第二項の規定を準用する。
3 測量計画機関は，測量成果・測量記録の保管・当該測量成果に係る承認の申請の受理に関する事務を国土地理院の長に委託することができる。

法規㊷

第 43 条(測量成果の複製)
公共測量の測量成果のうち図表等を測量の用に供し，刊行し，又は電磁的方法であつて国土交通省令で定めるものにより不特定多数の者が提供を受けることができる状態に置く措置をとるために複製しようとする者は，あらかじめ，当該測量成果を得た測量計画機関の承認を得なければならない。

法規㊸

〇測量標の使用(44 条)

・基本測量以外の測量実施者は国土地　理院長の承認を得て，基本測量設置の測量標を使用してよい

第 45 条(国土地理院が実施する公共測量の測量成果)

第 4 章**基本測量及び公共測量以外の測量**

法規㊹

第 46 条(届出等)基本測量及び公共測量以外の測量(法第 6 条測量)を実施しようとする場合は、あらかじめ測量の目的、地域、期間、作業量、精度及び方法等を記載した「測量法第 46 条第 1 項の規定による届出書」を国土交通大臣に提出しなければならない。
第 47 条(測量成果及び測量記録の提出等)

第 5 章測量士・測量士補

法規㊺

第 48 条**(測量士及び測量士補)**
1 基本測量・公共測量に従事する者は，登録された測量士・測量士補でなければならない。
2 **測量士**は，測量計画を作製し，実施する。
3 **測量士補**は，測量士の計画に従い測量に従事する。

法規㊻

第 49 条**(測量士及び測量士補の登録)**
1 測量士・測量士補となる資格を有する者は、国土地理院の長に対し，その資格を証する書類を添えて，測量士名簿・測量士補名簿に登録の申請をしなければならない。
2 測量士名簿及び測量士補名簿は，国土地理院に備える。

法規㊼
第 50 条**(測量士となる資格)**
一大学で測量学を修め卒業した者で，測量に関し一年以上の実務の経験を有する者
二 短期大学又は高等専門学校(「短期大学等」という。)において，測量の科目を修め，卒業した者で，測量に関し三年以上の実務の経験を有する者
三 測量に関する専門の養成施設において一年以上測量士補となるのに必要な専門の知識及び技能を修得した者で，測量に関し二年以上の実務の経験を有する者
四 測量士補で，測量に関する専門の養成施設において高度の専門の知識及び技能を修得した者
五 国土地理院の長が行う測量士試験に合格した者

第 51 条(測量士補となる資格)
一 大学において，測量の科目を修め，卒業した者
二 短期大学等において，測量の科目を修め，卒業した者
三 測量に関する専門の養成施設において一年以上測量士補となるのに必要な専門の知識及び技能を修得した者
四 国土地理院の長が行う測量士補試験に合格した者

施行令第 14 条(測量に関する科目)
1 大学の測量科目は，土木工学科，農業土木学科，林学科，採鉱学科の測量学，又は天文学科，地球物理学科，物理学科，数学科，地理学科，地質学科の科目とする。
2 短期大学等の測量科目は，土木科，農業土木科，林科，採鉱科における測量学とする。

第 15 条 削除

測量実務経験 1 年の算定
1 年間の実務年数は 225 日，測量学・実習の教授は 1800 時間とする。

測量士補登録の手続き
大学・短大・高専
登録申請書
卒業証明書
成績証明書
登録通知書送付用封筒
専門の養成施設
登録申請書
卒業証明書
登録通知書送付用封筒
試験合格
登録申請書
登録通知書送付用封筒

測量士登録の手続き
大学・短大・高専
登録申請書
測量に関する実務経歴証明書
卒業証明書(測量士補申請に使用した場合は不要)
成績証明書(測量士補申請に使用した場合は不要)
登録通知書送付用封筒
専門の養成施設
登録申請書
測量に関する実務経歴証明書
卒業証明書
登録通知書送付用封筒
試験合格
登録申請書
登録通知書送付用封筒

法規㊽
第 52 条の 2(測量に関する専門の養成施設の登録)～第 54 条(施行規定:測量士・測量士補の登録)

第 6 章測量業者
第 1 節登録
法規㊾
第 55 条**(測量業者の登録・登録の有効期間)**
1 測量業を営もうとする者は，測量業者としての登録を受けなければならない。
2 前項の登録の有効期間は，五年とする。
3 登録の有効期間の満了後引き続き測量業を営もうとする者は、更新の登録を受けなければならない。
4 更新の登録を受けようとする者が次条第一項の規定による申請をした場合において，第一項の登録の有効期間の満了の日までに，第五十五条の五第一項の規定による登録又は第五十五条の六第一項の規定による登録の拒否の処分がなされないときは，それらの処分があるまでは，第二項の規定にかかわらず、第一項の登録は，なお効力を有するものとみなす。

法規㊿
第 55 条の 2(登録の申請)～第 55 条の 12
第 55 条の 13**(測量士の設置)**
1 測量業者は，その営業所ごとに測量士を一人以上置かなければならない。
2 前項の規定は，測量業者(法人である場合においては，その役員のうちいずれかの役員)が測量士であるときは，その者が自ら主として業務を行なう営業所については，適用しない。

法規51
第 55 条の 14(無登録営業の禁止)
登録を受けない者は，測量業を営むことができない。
→第 61 条の 21 年以下の懲役又は 100 万円以下の罰金

第 2 節業務
法規52
第 56 条(業務処理の原則)
測量業者は，その業務を誠実に行ない，常に測量成果の正確さの確保に努めなければならない。

法規53
第 56 条の 2(一括下請負の禁止)
1 測量業者は，いかなる方法をもつてするかを問わず，その請け負つた測量を一括して他人に請け負わせ，又は他の測量業者から当該他の測量業者の請け負つた測量を一括して請け負つてはならない。
2 前項の規定は，元請負人があらかじめ注文者の書面による承諾を得た場合には、適用しない。
3 注文者は，前項の規定による書面による承諾に代えて，政令で定めるところにより，同項の元請負人の承諾を得て，電磁的方法であつて国土交通省令で定めるものにより，同項の承諾をする旨の通知をすることができる。この場合において，当該注文者は，当該書面による承諾をしたものとみなす。

法規54
第 56 条の 3(測量業者以外の者に対する下請負の禁止)
第 56 条の 4(下請負人の変更請求)
第 56 条の 5(標識の掲示)
第 56 条の 6(国土交通大臣の助言)

法規55
第 61 条 第 22 条(第 39 条の準用を含む)-測量標の保全-に違反した者は、2 年以下の懲役、又は 100 万円以下の罰金に処する。

法規56
第 61 条の 2 次の場合、1 年以下の懲役、又は 100 万円以下の罰金。
1. 登録を受けないで測量業を営んだ者
2. 営業の停止処分に違反して測量業を営んだ者
3. 不正の手段で測量業登録を行った者

法規57
第 62 条 次の者は 1 年以下の懲役、又は 50 万円以下の罰金。
1. 基本・公共測量に従事する者、その他の者で、基本・公共測量の測量成果をして真実に反する行為をした者
2. 48 条-登録された測量士・測量士補-に違反した者

法規58
63 条 次の者は 6 カ月以下の懲役又は 30 万円以下の罰金に処する。
1. 基本・公共測量を妨げた者
2. 15 条 1 項-土地の立ち入り-を拒み、妨げた者
3. 18 条-土地・樹木・工作物の一時使用-を拒み、妨げた者

法規59
第 63 条の 2 次の者は 30 万円以下の罰金
1. 55 条の 7 第 1 項-請け負う測量の種類変更届けを怠った者
2. 55 条の 8 第 1 項・第 2 項-当該年度の営業経歴書の届け、定款変更届け-違反
3. 55 条の 9 第 2 項-合併による解散の役員の届け-違反
4. 55 条の 11 第 1 項後段-登録取り消し後、その承継人は取り消し前に契約した測量を引き続き実施できる。その旨の届け出-をしなかった場合の違反
5. 57 条の 3 第 1 項-報告及び検査-における報告をせず、若しくは虚偽の報告をし、又は同項の規定による検査を拒み、妨げ、若しくは忌避した者

法規60 第 64 条次の場合 30 万円以下の罰金
1. 26 条測量標の使用の規定違反
2. 29 条前段-測量成果の複製-違反
3. 30 条第 1 項-測量成果の使用-違反

法規61 第 65 条法人の代表者又は法人若しくは人の代理人、使用人その他の従業者がその法人又は人の業務に関して第六十一条から前条までの違反行為をしたときは、行為者を罰するほか、その法人又は人に対しても、各本条の罰金刑を科する。

法規62 第 66 条次の場合 10 万円以下の過料にする
1. 第 55 条の 9 第 1 項測量業者が死亡した場合の相続人の届け出をしなかった場合
2. 第 56 条の 5 測量業者標識の掲示をしなかった場合
3. 第 57 条第 3 項-55 条の 9 第 2 項(営業所について第 55 条の十三の要件を欠く者)-より準用する第 55 条の 10 第 1 項後段-登録の消除-の場合

測量士

〔No.2〕公共測量

公共測量①
○法令遵守
　計画機関，作業機関の作業者は，
財産権，労働，安全，交通，土地利用規制，環境保全，法令等を遵守すること
社会的慣行を尊重すること

公共測量②
○実施体制
作業計画の立案，工程管理，精度管理等を総括する主任技術者を選任する
主任技術者は，測量士，高度な技術と十分な実務経験を有する者であること
作業機関で従事する者は、測量士又は測量士であること

公共測量③
○作業編成
計画準備：計画1日，資料準備1日
（路線標石所有者等の調査）
観測：観測者1名，器械手1名，
標尺手2名，交通整理員2名
計算整理：計算1日，点検1日
　成果資料作成1日

公共測量④
○作業工程日数
　①1級基準点測量
合計：新点数　×　4日
選点：新点　×　1日
測量標：新点　×　1/2 日
観測：全点　×　1日
他：1日
　②1級水準測量、路線測量
観測
　平地：1.8km/日
　山地：1.5km/日
　　（休日，天候障害，内業含）

公共測量⑤
○検定と点検
検定：第三者機関が行うもの
　機器検定：有効期間1年
　　（標尺3年）
点検：自社で行うもの
　機器点検：観測前と観測中

公共測量⑥
○点検測量率

1級、2級基準点測量：	10%
3級、4級基準点測量：	5%
1級～4級水準測量：	5%
簡易水準測量：	5%
地形水準測量：	5%
数値地形測量：	2%
線形決定：	5%
中心線測量：	5%
縦断測量：	5%
横断測量：	5%

公共測量⑦
○技術管理（計画機関が行うもの）
監督：
　計画機関が，契約書，仕様書，作業規程，他関係図集に基づき，作業実施状況について照合，立会，点検，確認を行い、請負者に適切な指示を行う
検査：
　計画機関が，測量成果，測量記録，他資料を対象に，検定記録書，関係図書，監督記録に基づき，観測値，出来ばえ，精度，数値について合否の判定を行う
○技術管理（作業機関が行うもの）
日本測量協会測量技術センター等で実施
精度管理
機器の検定
電算プログラムの検定
成果品の検定

公共測量⑧
○工程管理の必要性
納期内で完了させるため
障害時に迅速な対応を行うため
工程上の大きなミスを防止するため
作業能率の向上を図るため
経済的な運用を図るため
○工程管理の方法
適切な作業計画書の作成
作業量，人員，期間の管理
各工程の点検作業の実施
工程管理表，作業進度表の作成

進度状況を把握し，人員，機器を効率的に配置する

公共測量⑨

○精度管理の必要性
作業を所定の方法，手順で行う点検
作業を所定の機器を用いて行う点検
成果品の所定の精度と品質を確保する点検
ミスを防止する点検
○精度管理の方法
作業規程，特記仕様書の許容範囲内にあるかを点検する
測量機器の点検，調整，検定
点検測量の実施
測量成果の点検
精度管理表の作成

公共測量⑩

○原価管理の必要性
無駄を除き適正な利潤を確保するため
進行に応じ予定費用内かを把握するため
○原価管理の方法
目的に応じた人員，機器を配置する
必要以上の観測や伐採を避ける
気象等の最適条件で作業する
突貫作業を避ける

公共測量⑪

基準点利用の利点
○工事測量
土木工事等で工区の分割時，任意座標で行うと工区間の整合が困難である，公共座標で行えばその問題はない
○用地測量
境界杭が人為的，災害等により亡失しても，近接の国家座標点，公共基準点より復元が可能である
○品質保証
測量に誤りがあれば，国家基準点に結合すれば発見でき，測量品質が保証される
○広域地図のデータベース化
統一座標系により，高精度の均一測量成果となり，地図のデータベース化が可能となる
官公有地等の管理の効率化が図れる
○品質管理
公共測量として，国土地理院の技術的な指導、助言が受けられ，測量成果の審査，技術センターの点検により，安定した測量成果の品質管理が可能となる

公共測量⑫

○問題原因の解決
誤差要因を調査する
機器の異状：再点検を行う
点異状：地盤堅固な場所を選定
作業規程条件の再点検
平均次数，平均図の点検
記入，読定ミスを点検する
○GNSS の問題原因
受信障害の原因を取り除く：
マルチパスで異常受信を起こしていないか
上空視界を樹木等で遮れサイクルスリップを起こしていないか
近くで無線機を使用していないか同機種のアンテナを同方向にたてる
偏心点観測を行う

公共測量⑬

○測量方法の選定
水平変動量監視：GNSS(GPS)連続観測
ダム変位量検出：TS，光波測距儀
ビルの多い場所：TS
（GNSS は障害が多いため不向き）
建物状況：空中写真
カーナビ：マップデジタイズ
（デジタルマッピングは費用・期間的に不向き）

公共測量⑭

○計画準備協議
土地立入許可，一時使用の許可を得る
土地所有者より建標承諾書を取得する
伐採，掘削範囲を確認する
特別地域の指定，特別な規定・規則等があるかを確認する

公共測量⑮

○成果の電子記録媒体での提出
（デジタルデータ）
観測データファイル
解析結果ファイル（基準点測量）
観測成果表ファイル（水準測量）

平均計算データファイル
成果数値データ以外の成果をファイルする場合は記録様式説明書、出力用紙を添付する

公共測量⑯

○杭の設置
　地盤堅固な場所を選定する
　着色，番号
　杭頭に釘，十字鋲
　保護杭，コンクリートで根固を行う
　引照点図，点の記の作成，写真撮影

公共測量⑰

○杭の種類（木杭、プラ杭）
役杭：青色，9×9×75
IP杭：青色，9×9×90
中心点杭：赤色，6×6×60
引照点杭：白色，9×9×75
仮BM杭：黒灰色（プラ杭），
9×9×75
縦断変化点杭：赤色，6×6×60
見通杭：白色，4.5×4.5×45
用地幅杭：黄色，6×6×60
水際杭：白色，4.5×4.5×90
境界杭：黄色，4.5×4.5×45
補助基準点杭：黒灰色（プラ杭），6×6×60
用地境界仮杭：赤色，4.5×4.5×45
用地境界杭：赤色，12×12×90～120
保護杭：本杭と同色，6×6×60
○杭の種類（コンクリート杭）
距離標：12×12×120
水準基標：9×9×75
用地境界：12×12×90～120

公共測量⑱

○作業計画
①作業内容把握
　共通仕様書，特記仕様書，作業規程により
②資料収集
　貸与資料（線形図，設計図，地形図、用地図）
　測量成果（既設基準点，水準点，三角点の点の記と成果）
③現地踏査
　測量目的を十分理解し，作業の要点の調査、地形・植生・現地状況の調査，異状の有無の調査を行う
④作業方法
踏査結果から最適な作業方法を計画
⑤作業工程
　納期から工程計画を作成する
⑥作業班の編成
主任技術者，作業責任者，作業員の人選を行う
⑦使用機器
使用機器の検定，機能点検，資材等の調達を行う
⑧安全管理
　作業従事者への安全の徹底，緊急時の連絡体制を整備する

測量士

〔No.3〕安全対策

安全対策①

①調査情報の収集
地形，交通，気象情報
安全装備
連絡体制の整備
②作業員に安全の徹底
作業内容、手順の説明
使用機器の取扱の徹底
危険作業の指導
③作業員の適切な配置
技量、経験、気質を勘案
無理のない適切な作業計画と配置
④進捗状況の把握
⑤危険行為に対する注意指示

安全対策②

○備品
安全帽，安全靴，トラチョッキ，腕章
トランシーバー，ハンドスピーカー，ラジオ，笛，懐中電灯
赤旗白旗，合図灯，発煙筒
バリケード，作業看板
ロープ，ウェットスーツ，救命具，浮輪
救急箱，非常食

安全対策③

○準備
指示，注意事項の確認
身分証明書の入手と携帯
立入許可証明書の入手と携帯
関係連絡先の確認（計画機関，警察署，営林署，海上保安部等）
救急医療機関の連絡先の確認

安全対策④

○出発前
気象，作業員の健康状況の確認
人員配置のチェック
安全装備，機材装備の確認
車の仕業点検

安全対策⑤

○現地
有毒，有害動植物に注意する
（毒蛇，熊，蜂）
（ウルシ，キノコ）
感電，火災に注意する
雨，霧，台風，雷等の気象情報を入手する
タバコによる山火事に注意する
切かぶ等によるけがに注意する
伐採時のナタ，カマに注意する
墜落，落石，突風等に注意する

監視員を配置する
現地調査を十分に行う
現地で安全対策の打合せを行う
警報に注意する
緊急時の避難が容易なように，近くに車を待機させる
危険な場所の測点は避ける
複数で行動する

○交通量の多い場所での留意点
交通整理員を配置する
作業標識，安全灯を設置する
安全帽，安全靴，トラチョッキを装備する
交差点付近の機械の設置は避ける
道路内では機械から離れない
スチールテープは使用しない
標尺は立てて運搬する
標尺の移動は電線に注意する

測量士

〔No.4〕誤差論

誤差①

(定義)
測定値(観測値):器械器具で角度、長さを測定する値
真値:測定した値から誤差を取り除いた値
最確値:最も確からしい値(真値に近い)
誤差=測定値-真値
残差=測定値-最確値(平均値)
(誤差の分類)
過誤(過失):大きな誤差
系統誤差(定誤差):一定の誤差、バイアス
偶然誤差:小さなばらつきのある誤差

誤差② 標準偏差計算

分散伝播法則
規則①異なる標準偏差を足して誤差計算するのは間違い。
(例①)$M=m_1+m_2=1+3=4$(×)、$M^2=16$(間違い)
$M^2=m_1^2+m_2^2=1^2+3^2=10$、$M=\sqrt{10}$ と計算する。
規則②同じ種類の標準偏差は一つにする。
(例②)$M=1m_1+2m_1=3m_1$、$m_1=2$ ならば $M^2=(3\times2)^2=36$、$M=6$(○)、
$M^2=(1m_1)^2+(2m_1)^2=4+16=20$(×)、
$M=\sqrt{20}=2\sqrt{5}$(×)

誤差③ 誤差②の規則①の実例

TS(光波測距儀)の誤差
$\Delta D=5mm+5\times D\times10^{-5}$のように表される。
最初の 5mmは測定距離に関係ない誤差(標準偏差)、$5\times D\times10^{-6}$は測定距離に関係ある(比例する)誤差(標準偏差)である。
D=140m測定するとき
$\Delta D=5mm+5\times1.4mm10^5\times10^{-6}$
=5mm+0.7mm
である。ΔD=5.7mmと計算してはいけない。
なぜならば、これらは異なる標準偏差なので、

$$M_D^2=m_1^2+m_2^2=5^2+0.7^2=25.49$$
$$M_D=5.05mm$$

と計算するのが正しい。

誤差④ 座標 P の誤差(平成 27 年 No.14)

誤差②の規則②の実例(解答なし誤問)
(同じ標準偏差は必ずひとまとめにする)
点 A,B には誤差がない。
距離測定の誤差=5 mm+ 5×10^{-6}D (D は測定距離), 角度測定の標準偏差は 20″であるとし角度 1 ラジアンは, 2″×10^5とする。

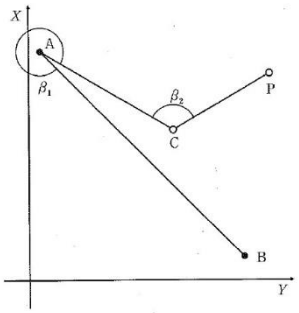


図14

表 14-1

	X 座標(m)	Y 座標(m)
既知点 A	205	10
既知点 B	20	195

表 14-2

	水平角
β 1	345°
β 2	120°

表 14-3

	距離
既知点 A~TS 点 C	140m
TS 点 C~求点 P	100m

(解答)S1 の誤差

$$M_{S1}{}^2=(5mm)^2+(5\times10^{-6}\times1.4\times10^5mm)^2$$
$$=25+0.49=25.49$$

S2 の誤差

$$M_{S2}{}^2=(5mm)^2+(5\times10^{-6}\times1.0\times10^5mm)^2$$
$$=25+0.25=25.25$$

〔方向角の計算〕
$\tan T_{BA}=(y_A-y_B)/(x_A-x_B)=(10-195)/(205-20)=-1$
$T_{BA}=-45°$
$T_{AB}=-45°+180°=135°$
$T_{AC}=\alpha_1=T_{AB}+\beta_1=120°$
$T_{CP}=\alpha_2=T_{AB}+\beta_1+180°+\beta_2=60°$
〔座標 P を求める式〕
$X_C=X_A+S_1\cos\alpha_1$
$X_P=X_C+S_2\cos\alpha_2=X_A+S_1\cos\alpha_1+S_2\cos\alpha_2$
$Y_C=Y_A+S_1\sin\alpha_1$
$Y_P=Y_C+S_2\cos\alpha_2=Y_A+S_1\sin\alpha_1+S_2\sin\alpha_2$
座標 P の誤差
テーラー展開の第一項により誤差式を求めます。
$\Delta X_P=(\partial X_P/\partial S_1)\Delta S_1+(\partial X_P/\partial S_2)\Delta S_2+(\partial X_P/\partial\beta_1)\Delta\beta_1+(\partial X_P/\partial\beta_2)\Delta\beta_2$
$=\cos\alpha_1\Delta S_1+\cos\alpha_2\Delta S_2-S_1\sin\alpha_1\Delta\beta_1-S_2\sin\alpha_2\Delta\beta_1-S_2\sin\alpha_2\Delta\beta_2$
$=\cos\alpha_1\Delta S_1+\cos\alpha_2\Delta S_2-(S_1\sin\alpha_1+S_2\sin\alpha_2)\Delta\beta_1-S_2\sin\alpha_2\Delta\beta_2$

$Mxp^2=\cos^2\alpha_1 Ms_1^2+\cos^2\alpha_2 Ms_2^2+(S_1\sin\alpha_1+S_2\sin\alpha_2)^2 M_{\beta 1}^2+S_2^2\sin^2\alpha_2 M_{\beta 2}^2$

$\cos\alpha_1=(-1/2)$

$\cos\alpha_2=1/2$

$\sin\alpha_1=(\sqrt{}3/2)$

$\sin\alpha_2=(\sqrt{}3/2)$

$Mxp^2=(Ms_1^2+Ms_2^2)\cos^2\alpha+\sin^2\alpha[(S_1+S_2)^2+S_2^2]M_\beta^2$

$=(25.49+25.25)(1/2)^2+10^{10}(\sqrt{}3/2)^2[(1.4+1.0)^2+1.0^2](20''/2''\times10^5)$

$=12.685+(3/4)[6.76]\times100=12.685+507$

$=519.685$

$M_{XP}=22.8mm$

$Y_C=Y_A+S_1\sin\alpha_1$

$Y_P=Y_C+S_2\cos\alpha_2=Y_A+S_1\sin\alpha_1+S_2\sin\alpha_2$

$\Delta Y_P=(\partial Y_P/\partial S_1)\Delta S_1+(\partial Y_P/\partial S_2)\Delta S_2+(\partial Y_P/\partial\beta_1)\Delta\beta_1+(\partial Y_P/\partial\beta_2)\Delta\beta_2$

$=\sin\alpha_1\Delta S_1+\sin\alpha_2\Delta S_2+S_1\cos\alpha_1\Delta\beta_1+S_2\cos\alpha_2\Delta\beta_1+S_2\cos\alpha_2\Delta\beta_2$

$=\sin\alpha_1\Delta S_1+\sin\alpha_2\Delta S_2+(S_1\cos\alpha_1+S_2\cos\alpha_2)\Delta\beta_1+S_2\cos\alpha_2\Delta\beta_2$

$Myp^2=\sin^2\alpha_1 Ms_1^2+\sin^2\alpha_2 Ms_2^2+(S_1\cos\alpha_1+S_2\cos\alpha_2)^2 M_{\beta 1}^2+S_2^2\cos^2\alpha_2 M_{\beta 2}^2$

$\cos\alpha_1=(-1/2)$

$\cos\alpha_2=1/2$

$\sin\alpha_1=(\sqrt{}3/2)$

$\sin\alpha_2=(\sqrt{}3/2)$

$Myp^2=\sin^2\alpha(Ms_1^2+Ms_2^2)+\cos^2\alpha_1[(-S_1+S_2)^2+S_2^2]M_\beta^2$

$=(\sqrt{}3/2)^2(25.49+25.25)+(1/2)^2[(-1.4+1)^2+1]\times100$

$=38.055mm^2+29=67.055$

$My_P=8.2mm$

誤差⑤

算術平均値$\bar{x}=\frac{\sum x_i}{n}=\frac{[x_i]}{n}$

(証明)

観測値:$x_1, x_2,\cdots, x_n$

n:観測値の個数

残差$v_1=x_1-\bar{x}, v_2=x_2-\bar{x},\cdots, v_n=x_n-\bar{x}$

$v_1^2=(x_1-\bar{x})^2, v_2^2=(x_2-\bar{x})^2,\cdots, v_n^2=(x_n-\bar{x})^2$

$E=\sum v_i^2=\sum(x_i-\bar{x})^2=\sum x_i-2\bar{x}\sum x_i+n\bar{x}^2\rightarrow$最小

$\partial E/\partial\bar{x}=0$ より

$-2\sum x_i+2n\bar{x}=0$

$$\bar{x}=\frac{\sum x_i}{n}$$

算術平均の標準偏差$\sigma_{\bar{x}}=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

残差$v_i=x_i-\bar{x}$

同一精度で観測した個々の観測値の標準偏差

$$\sigma=\sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}}$$

最確値(平均値)の標準偏差

$$\sigma_{\bar{x}}=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{[v_i^2]}{n(n-1)}}$$

($\bar{x}$、$\sigma_{\bar{x}}$の証明)

残差 $v=x-\bar{x}$

誤差 $\varepsilon=x-X$(X:真値)

$\varepsilon=(\bar{x}-X)+v$

平方すると

$\varepsilon^2=(\bar{x}-X)^2+2v(\bar{x}-X)+v^2$

n 個の観測値に関して

$\varepsilon_1^2=(\bar{x}-X)^2+2v_1(\bar{x}-X)+v_1^2$

$\varepsilon_2^2=(\bar{x}-X)^2+2v_2(\bar{x}-X)+v_2^2$

$\cdots$

$\varepsilon_n^2=(\bar{x}-X)^2+2v_n(\bar{x}-X)+v_n^2$

これらを合計すると

$[\varepsilon_i^2]=n(\bar{x}-X)^2+2(\bar{x}-X)[v_i]+[v_i^2]\cdots①$

分散(標準偏差)の定義は$\sigma_{\bar{x}}^2=[\varepsilon_i^2]/n$であり、それぞれの測定値$x_1,x_2,\cdots,x_n$の分散は$\sigma_1^2,\sigma_2^2,\cdots,\sigma_n^2$とすると、平均値は

$$\bar{x}=\frac{\sum x_i}{n}=\frac{x_1}{n}+\frac{x_2}{n}+\cdots+\frac{x_n}{n}$$

であり、その分散は

$$\sigma_{\bar{x}}^2=\frac{\sigma_1^2}{n^2}+\frac{\sigma_2^2}{n^2}+\cdots+\frac{\sigma_n^2}{n^2}$$

通常、$\sigma^2=\sigma_1^2=\sigma_2^2=\cdots=\sigma_n^2$とおけるから

$$\sigma_{\bar{x}}^2=n\frac{\sigma^2}{n^2}=\frac{\sigma^2}{n}$$

$$\sigma_{\bar{x}}=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

また誤差 ε、あるいは残差 v の総和はゼロであるから$v_1+v_2+\cdots+v_n=[v_i]=0$

これを①に代入してnで割ると

$[\varepsilon_i^2]/n=(\bar{x}-X)^2+[v_i^2]/n\cdots②$

ここで$(\bar{x}-X)^2$は分散の平均値なので

$$\frac{\sigma^2}{n}=(\bar{x}-X)^2\cdots③$$

③を②に代入すると

$$\frac{[\varepsilon_i^2]}{n}=\frac{\sigma^2}{n}+\frac{[v_i^2]}{n}=\sigma^2$$

$$\frac{[v_i^2]}{n}=\sigma^2-\frac{\sigma^2}{n}=\left(\frac{n-1}{n}\right)\sigma^2$$

$$\sigma^2=\left(\frac{n}{n-1}\right)\frac{[v^2]}{n}=\frac{[v^2]}{n-1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}}$$

(例)平均値の標準偏差の計算

AB 間の距離を TS で 3 回測定

12.356m、12.357m,12.359m

平均値$\bar{x} = 12.357\text{m}$、

残差$v_1 = -1\text{mm}, v_2 = 0\text{mm}, v_3 = -2\text{mm}$,

$v_1^2 = 1, v_2^2 = 0, v_3^2 = 4$より

$[v_i^2] = 1 + 0 + 4 = 5$から

標準偏差

$$\sigma = \sqrt{\frac{5}{3-1}} = 1.6\text{mm}$$

平均値の標準偏差(標準誤差)

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1.6}{\sqrt{3}} = 0.9\text{mm}$$

誤差⑥

異精度の観測の場合

重量平均

$$\bar{x} = \frac{p_1\ell_1 + p_2\ell_2 + \cdots + p_n\ell_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n} = \frac{[p_i\ell_i]}{[p_i]}$$

それぞれの標準偏差が分かっている場合

$$p_1 : p_2 : \ldots : p_n = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \ldots : \frac{1}{\sigma_n^2}$$

単位重さ当たりの観測の標準偏差

$$\boldsymbol{\sigma = \sqrt{\frac{[p_i v_i^2]}{n-1}}}$$

重量平均の標準偏差 M

$$\sigma_{\bar{x}}{}^2 = \left(\frac{p_1}{[p_i]}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{p_2}{[p_i]}\right)^2 \sigma_2^2 + \cdots + \left(\frac{p_n}{[p_i]}\right)^2 \sigma_n^2$$

重量 1 の標準偏差をσとすると

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{p_1}}, \sigma_2 = \frac{\sigma}{\sqrt{p_2}}, \ldots, \sigma_n = \frac{\sigma}{\sqrt{p_n}}$$

となり, これを上の式に代入すると

$$\sigma_{\bar{x}}{}^2 = \left(\frac{p_1}{[p_i]}\right)^2 \left(\frac{\sigma^2}{p_1}\right) + \left(\frac{p_2}{[p_i]}\right)^2 \left(\frac{\sigma^2}{p_2}\right) + \cdots + \left(\frac{p_n}{[p_i]}\right)^2 \left(\frac{\sigma^2}{p_n}\right)$$

$$\sigma_{\bar{x}}{}^2 = \left(\frac{\sigma}{[p_i]}\right)^2 (p_1 + p_2 + \cdots + p_n) = \frac{\sigma^2}{[p_i]}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{[p_i]}}$$

重量平均 x_o の標準偏差

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{[p_i]}} = \sqrt{\frac{[p_i v_i^2]}{[p_i](n-1)}}$$

(例)水平角の最確値の標準偏差

水平角 α の観測: α_1=59° 25′ 42″ , 個数 p_1=1、

α_2=59° 25′ 43″ 、p_2=3、

α_3=59° 25′ 47″ 、p_3=5

重量 1 の標準偏差を σ と

重量平均の標準偏差$\sigma_{\bar{\alpha}}$を求めると、

$[p_i\alpha_i]$=2×1+3×3+7×5=46、

$[p_i]$=1+3+5=9 から

重量平均$\bar{\alpha}$=59° 25′ 40″ +46″ /9=59° 25′ 45″

v_1=−3”、v_2=−2”、v_3=2”、

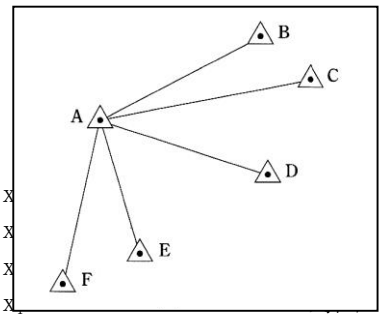
$v_1{}^2$=9、$v_2{}^2$=4、$v_3{}^2$=4 より

$[p_i v_i{}^2]$=9×1+4×3+4×5=41 となるので、

$$\sigma = \sqrt{\frac{41}{3-1}} = 4.6''$$

$$\sigma_{\bar{\alpha}} = \frac{4.6''}{\sqrt{9}} = 1.5''$$

(平成 20 年 No1 問 C)水平角観測値と重量は以下の通りである。∠BAF の最確値を求める。



x_5’＝∠BAF＝150° 00’02”:1 対回

(方法①)

重量平均(応用)

x1~x4=∠BAF=∠BAC+∠CAD+∠DAE+∠EAF

＝150° 0’10”

(注意)x1~x4=∠BAF の重量はx_i′の分散から計算することである。

その重量は対回数に比例する。しかし、精度、つまり分散$\sigma_{x1\sim x4}^2$は重量$p_{x1\sim x4}$に反比例するから

$$\sigma_{x1\sim x4}^2 = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p_3} + \frac{1}{p_4} = 1 + \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2} = 3$$

$$p_{x1\sim x4} = \frac{1}{\sigma_{x1\sim x4}^2} = 1/3$$

となる。

∠BAF=x_5の重量は$p_{x5} = 1$であるから、x5 の重量平均は

$$\angle BAF = x_o + \frac{p_{x1\sim x4} \times x1\sim x4 + p_{x5} \times x_5}{p_{x1\sim x4} + p_{x5}}$$

$$= 150°0' + \frac{\frac{1}{3} \times 10'' + 1 \times 02''}{\frac{1}{3} + 1}$$

$$= 150°0' + \frac{\frac{16''}{3}}{\frac{4}{3}} = 150°0'04''$$

を得る。ただし、観測値の変化のない部分を$x_o = 150°0'$とおいた。

(方法②:別解)

条件方程式法

条件方程式を立てると

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = x_5$$

である。最確値x_i＝観測値x_i'+補正値v_i、つまり

$$x_i = x_i' + v_i$$

を代入すると

$$(x_1' + v_1) + (x_2' + v_2) + (x_3' + v_3) + (x_4' + v_4) - (x_5 + v_5) = 0$$

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 - v_5 = -(x_1' + x_2' + x_3' + x_4' - x_5') = t = -8''$$

ここで、tは閉合差である。

観測値の重量p_iは対回数であるから、次式で表される。

$$p_1 : p_2 : p_3 : p_4 : p_5 = 1 : 2 : 1 : 2 : 1$$

相関方程式

最小二乗法の目的 E は「残差v_i(補正値)の平方に重みp_iをかけたものの総和を最小にすること」であるから $E = \Sigma p_i v_i^2 = \min$**(最小)と書ける。**しかし、条件方程式法では、このままではv_iは解けないので、-2kで表す"ラグランジェの未定係数"を使い、次のように E を表す。

$$E = \sum p_i v_i^2 - 2k(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 - v_5) = \min$$

上の E とこの E を比べるとき、$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 - v_5 - t = 0$なので、同等な式である。E を$v_i$で偏微分すると、上の式の右辺が数値(最小)なので、ゼロとおける。

$$\frac{\partial E}{\partial v_1} = 2p_1 v_1 - 2k = 0$$

$$v_1 = k$$

$$\frac{\partial E}{\partial v_2} = 2p_2 v_2 - 2k = 0$$

$$v_2 = k/2$$

$$\frac{\partial E}{\partial v_3} = 2p_3 v_3 - 2k = 0$$

$$v_3 = k$$

$$\frac{\partial E}{\partial v_4} = 2p_4 v_4 - 2k = 0$$

$$v_4 = k/2$$

$$\frac{\partial E}{\partial v_5} = 2p_5 v_5 + 2k = 0$$

$$v_5 = -k$$

条件方程式に 5 つのv_iを代入すると

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 - v_5 = k + k/2 + k + k/2 + k = 4k = t$$

$$\therefore k = -\frac{8}{4} = -2''$$

この 4k＝tが相関方程式である。

補正値の計算

$$v_1 = k = -2''$$

$$v_2 = k/2 = -1''$$

$$v_3 = k = -2''$$

$$v_4 = k/2 = -1''$$

$$v_5 = -k = +2''$$

最確値

$$x_5 = x_5' + v_5 = 150°00'02'' + 2'' = 150°00'04''$$

(方法③:別解)行列による(②と同じ)

条件方程式:UV=t

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - x_5 = 0$$

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 - v_5 = -(x_1' + x_2' + x_3' + x_4' - x_5') = -8''$$

$$(1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad -1) \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} = (-8'')$$

UV=t

相関方程式

$$E = V^T P V = \min$$

ラグランジェの未定係数$-2K^T$を用いて

$$E = V^T P V - 2K^T(UV - t) = \min$$

$$\frac{\partial E}{\partial V} = PV + (V^T P)^T - 2(K^T U)^T = 0$$

$$2PV = 2U^T K$$

$$V = P^{-1} U^T K$$

これを$UV = t$に代入すると

$$UP^{-1}U^T K = t$$

P は重量、G はコファクタといい、

$$G = P^{-1}$$

であるので、次の相関方程式が作れる。

$$UGU^T K = t$$

$$\mathbf{P^{-1}} = \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$UGU^T = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad -1) \begin{pmatrix} 1 \\ 1/2 \\ 1 \\ 1/2 \\ -1 \end{pmatrix} = (4)$$

$$Nk = t$$
$$(4)k = (-8'')$$
$$\therefore k = -2''$$

ここで、K:ラグランジェの未定係数である。

補正方程式:V

$$V = GU^{T}K = \begin{pmatrix} 1 \\ 1/2 \\ 1 \\ 1/2 \\ -1 \end{pmatrix}(-2'') = \begin{pmatrix} -2 \\ -1 \\ -2 \\ -1 \\ +2 \end{pmatrix}''$$

4) 最確値X + V

$$\therefore x_5 = \angle BAF = x_5' + v_5 = 150°00'02^{+2''} = 150°00'04''$$

5)最確値の分散

コファクタ$\overline{X+V,(X+V)^{T}} = G - GU^{T}N^{-1}UG$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$- \begin{pmatrix} 1/4 & 1/8 & 1/4 & 1/8 & 1/4 \\ & 1/16 & 1/8 & 1/16 & 1/8 \\ & & 1/4 & 1/8 & 1/4 \\ & & & 1/16 & 1/8 \\ 対称 & & & & 1/4 \end{pmatrix}$$

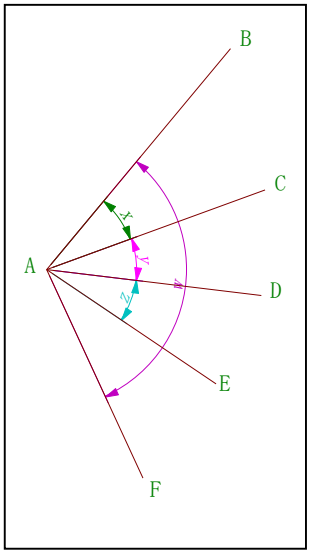
$$= \begin{pmatrix} 3/4 & -1/8 & -1/4 & -1/8 & -1/4 \\ & 7/16 & -1/8 & -1/16 & -1/8 \\ & & 3/4 & -1/8 & -1/4 \\ & & & 7/16 & -1/8 \\ 対称 & & & & 3/4 \end{pmatrix}$$

重量 1 の分散$\sigma_0^2 = \frac{1}{r}(K^{T}NK) = \frac{1}{1}(-2)(4)(-2) = 16$

$$\sigma_{x5}^2 = \sigma_0^2 g^{x5x5} = 16 \times \left(\frac{3}{4}\right) = 12$$

$$\sigma_{x5} = \sqrt{12} = 2\sqrt{3} = 2.8''$$

(方法④:別解)観測方程式法



未知数x、y、z、wを使用すると、

$$x_1 = x$$
$$x_1' + v_1 = x$$
$$v_1 = x - x_1'$$

同様にして

$$x_2 = y$$
$$x_2' + v_2 = y$$
$$v_2 = y - x_2'$$
$$v_3 = z - x_3'$$
$$v_4 = -x - y - z + w - x_4'$$
$$v_5 = w - x_5'$$

ただし、$\Delta x_i' = x_i' - x_{io}$として、近似値を引いておくと計算が簡単になる。

$$\Delta x_1' = 15°00'04'' - 150° = 4''$$
$$\Delta x_2' = 30°00'02'' - 30° = 2''$$
$$\Delta x_3' = 60°00'03'' - 60° = 3''$$
$$\Delta x_4' = 45°00'01'' - 45° = 1''$$
$$\Delta x_5' = 150°00'02'' - 150° = 2''$$

上の補正方程式(誤差方程式)を
行列にすると

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta x_1' \\ \Delta x_2' \\ \Delta x_3' \\ \Delta x_4' \\ \Delta x_5' \end{bmatrix}$$

V=AX-f

重量 P は次のような対角行列である。

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

正規方程式

NX=F

最小二乗法の目的は「残差(補正値)の平方に重みをかけたものの総和を最小にすること」なので、これは

$$E = V^{T}PV = \min$$
$$E = (AX - f)^{T}P(AX - f) =$$
$$= (X^{T}A^{T} - f^{T})(PAX - Pf)$$
$$= X^{T}A^{T}PAX - X^{T}A^{T}Pf - f^{T}PAX + f^{T}Pf = \min$$

と展開できる。X は以下のようにして解ける。

$$\frac{\partial E}{\partial X} = A^{T}PAX + (X^{T}A^{T}PA)^{T} - A^{T}Pf - (f^{T}PA)^{T} = 0$$

$$A^{T}PAX = A^{T}Pf$$

又は

$$NX = F$$

これが正規方程式である。

$$A^{T}P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$N = A^T PA = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 2 & -2 \\ 2 & 4 & 2 & -2 \\ 2 & 2 & 3 & -2 \\ -2 & -2 & -2 & 3 \end{bmatrix}$$

$$F = A^T Pf = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix}$$

正規方程式の解

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix} = N^{-1}F$$

$$= \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 12 & -2 & -4 & 4 \\ -2 & 7 & -2 & 2 \\ -4 & -2 & 12 & 4 \\ 4 & 2 & 4 & 12 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix}$$

補正値 V=AV−f

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 3 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 \\ -1 \\ -2 \\ -1 \\ 2 \end{bmatrix}''$$

最確値

x_5＝∠BAF＝$x_5' + v_5$ ＝150° 00’02”+2”

＝150° 00’04”

誤差⑦

○重みpの観測値を重み 1 の観測値にする方法

重みpの観測値をℓ_p,標準偏差をσ'_p

重み 1 のその観測値を$k \cdot \ell_p$,

その標準偏差を m とする。

そこで，誤差伝播法則から

$\sigma^2 = k^2 \cdot \sigma_p^2$ …(1)

また重みと標準偏差の関係より

$p: 1 = \frac{1}{\sigma_p^2} : \frac{1}{\sigma^2}$ 又は$p = \frac{\sigma^2}{\sigma_p^2}$

$\sigma^2 = p \cdot \sigma_p^2$ …(2)

式(1)＝式(2)より

$$k^2 \cdot \sigma_p^2 = p \cdot \sigma_p^2$$

$\therefore k = \sqrt{p}$

つまり，観測値 ℓ の重量がpであるとき，$\sqrt{p}\ell$とおけばその観測の重量が 1 となることを示している。すなわち，重量pの観測値を重量 1 の観測値に直すには$\sqrt{p}$をかければよいことになる。

誤差⑧

和の標準偏差(**距離 $S=s_1+s_2+s_3\cdots$の精度**)

コファクタ伝播法則から

$g_{ss} = g_{11} + g_{22} + \cdots + g_{nn}$

標準偏差で書き直すと

$\sigma_S^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_n^2$

$\sigma_S = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}$

(例) 距離 S=s+s+sを求めるためs＝50m，標準偏差σ_s=5mm で3区間の測定を行った。

S の精度

$\sigma_S^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 = 3\sigma^2 = 3 \times 5^2$

$\sigma = 8.6\text{mm}$

誤差⑧

積の標準偏差(長方形の**面積 S=xy の精度**)

$\Delta S = \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)\Delta x + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)\Delta y$ から両辺を平方して

$\Delta_S^2 = (y \cdot \Delta x)^2 + (x \cdot \Delta y)^2 + 2xy\Delta xy$

記号を標準偏差にすると

$\sigma_S^2 = y^2\sigma_x^2 + x^2\sigma_y^2 + 2xy\sigma_{xy}$

$\sigma_S = \sqrt{y^2\sigma_x^2 + x^2\sigma_y^2 + 2xy\sigma_{xy}}$

ただし，観測値 x,y は独立で相関はないものとすれば、共分散σ_{xy}はゼロと置くことができる。

(例) 面積 S=30m×50mの長方形の土地を，それぞれの標準偏差 1mm,2mm で測定した。面積の精度を求めよ。

$\sigma_S^2 = y^2\sigma_x^2 + x^2\sigma_y^2 = (50\text{m} \times 1\text{mm})^2 + (30\text{m} \times 2\text{mm})^2 = 0.0025 + 0.0036 = 0.0061\text{m}^2$

$\sigma_S = 0.079\text{m}^2$

誤差⑨

距離の標準偏差($\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \ldots$)

$S = s_1 + s_2 + \cdots + s_n \approx n \cdot s$

$n = \frac{S}{s}$

$\sigma_S^2 = n \cdot \sigma^2$

$\sigma_S = \sigma \cdot \sqrt{n} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{S}{s}}$

誤差⑩

全長 S の水準測量の標準偏差σ_S

$\sigma_S{}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_n^2$

$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \ldots$とすると

$\sigma_S^2 = n \cdot \sigma^2$

S=ns より n＝S/s(標尺間距離)

$\sigma_S^2 = n \cdot \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{s} S$

$k^2 = \frac{\sigma^2}{s}$とおけば

$\sigma_S = k\sqrt{S}$

(例)

A 点から B 点(距離 S)まで水準測量を行い，標尺ごと(標尺間距離 L)の標準偏差 σ が全て等しいとき，A 点と B 点の高低差の往復観測の標準偏差はいくらか。

前視・後視の標準偏差:h=b−a,

$\sigma_h^2 = \sigma_b^2 + \sigma_a^2 = 2\sigma^2, \sigma_h = \sqrt{2}\sigma,$

測点数 n＝S/(2L),

$\Delta H = h_1 + h_2 + \cdots + h_n,$

$\sigma_{\Delta H}^2 = n(2\sigma^2) = 2n\sigma^2$

$\sigma_{\Delta H}^2 = 2\sigma^2 \frac{S}{2L} = \sigma^2 \frac{S}{L}$ ， $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\frac{S}{L}}\sigma$

(例) 1 級水準測量 k=2.5(mm)、S=10km では視準誤差 a,b はいくらにすべきか。

σ_h=2.5[mm]$\sqrt{10}$＝7.9mm

$$\sigma_h^2 = n \cdot \sigma^2 = \frac{10\text{km}}{0.050} \cdot \sigma^2 = 200\sigma^2$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_h^2}{200} = \frac{7.9^2}{200} = 0.3$$

$$\sigma = 0.55(\text{mm})$$

高低差 h=a−b より

$\sigma^2 = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 = 2\sigma_a^2$

1 視準の誤差

$$\sigma_a = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{0.55}{\sqrt{2}} = 0.3\text{mm}$$

誤差⑪

水平距離 D の標準偏差σ_D

高低差h，斜め距離 L とすると

$D^2 = L^2 - h^2$

$D \approx L - \frac{h^2}{2L}$

$\sigma_D^2 = \left(\frac{\partial D}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial h}\right)^2 \sigma_h^2$

ここでσ_L＝0とすれば

$\sigma_D^2 = \left(\frac{\partial D}{\partial h}\right)^2 \sigma_h^2 = \left(\frac{h}{L}\right)^2 \sigma_h^2$

$\sigma_D = \left(\frac{h}{L}\right)\sigma_h$

誤差⑫

Z の標準偏差

$Z = a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_nx_n$

いくつかの独立量($x_1, x_2, \cdots, x_n$)を観測したときの，Z の標準偏差は次式で求められる。

$$\sigma_Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \cdots + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_n^2}$$

誤重量(重み)P

測定回数に比例

標準偏差の平方に反比例

$P_a : P_b : P_c = \frac{1}{\sigma_a^2} : \frac{1}{\sigma_b^2} : \frac{1}{\sigma_c^2}$

測定距離に反比例

Pa:Pb:Pc=1/Sa:1/Sb:1/Sc

誤差⑬

測定距離(L)の最確値

$\bar{\ell} = \frac{P_a\ell_a + P_b\ell_b + P_c\ell_c}{[P]}$

ℓ_a, ℓ_b, ℓ_c:A,B,C の測定距離

P_a, P_b, P_c:A,B,C の重み

$[P] = P_a + P_b + P_c$

誤差⑭

観測値$\ell_1, \ell_2, \ldots, \ell_n$の誤差を$\Delta_1, \Delta_2, \ldots, \Delta_n$とすると、これらは異なる重さの測定なので、これらを重さ 1 にそろえることを考える。重さ 1 の測定の標準偏差をσとすると、重さ p_i の測定の標準偏差は$\sigma_i = \frac{\sigma}{\sqrt{p_i}}$となる。

この関係は誤差 Δ についても成立し、各測定を重さ 1 の測定に直すと、

$\Delta_1\sqrt{p_1}, \Delta_2\sqrt{p_2}, \ldots, \Delta_n\sqrt{p_n}$

となるから、

重さ 1 の測定の標準偏差 σ は

$$\sigma = \sqrt{\frac{[p_i \Delta_i^2]}{n}}$$

誤差 Δ の代わりに残差 v で表すと、重さ 1 の標準偏差は

$$\sigma = \sqrt{\frac{[p_i v_i^2]}{n-1}}$$

誤差⑮

重量 p とコファクタ g

$$g_{ii} = \frac{\sigma_{ii}}{\sigma_o^2}$$

$$p_{ii} = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_{ii}}$$

$Z = ax$ の場合

$g_{zz} = a^2 g_{xx}$, $\frac{1}{p_{zz}} = a^2 \frac{1}{p_{xx}}$

$\sigma_Z^2 = a^2 \sigma_x^2$

$Z = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots + a_n x_n$ の場合

$g_{zz} = a_1^2 g_{11} + a_2^2 g_{22} + \cdots + a_n^2 g_{nn}$

$\sigma_Z^2 = a_1^2 \sigma_1^2 + a_2^2 \sigma_2^2 + \cdots + a_n^2 \sigma_n^2$

(*)重量による計算に対し，コファクタによる計算の方が，わかりやすい。

誤差⑯

座標 X の精度

$X = S \cdot \cos T$

S:距離

T:方向角

$\sigma_X^2 = \cos^2 T \sigma_S^2 + S^2 \sin^2 T \sigma_T^2$

(例)T=210°，S=200m，σ_s＝10mm，σ_T＝10”

$\sigma_X^2 = \cos^2 210^o \times 10^2 + 200{,}000^2 \sin^2 210^o (\frac{10''}{\rho''})^2$

σ_X^2＝$0.75 \times 100 + 4 \times 10^{10} \times 0.25 \times 2 \times 10^{-9}$

$= 75 + 20 = 95$

$\sigma_X = 9.8\text{mm}$

誤差⑰

水平距離 D の精度

高低角 θ と斜め距離 L

$D = L \cos\theta$

$$\sigma_D = \sqrt{\cos^2\theta \cdot \sigma_L^2 + L^2 \sin^2\theta \cdot \sigma_\theta^2}$$

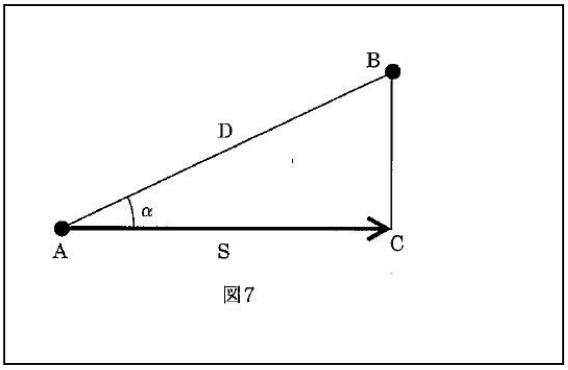


図7

誤差⑱平成 24 年[No. 7]

図 7 に示すように、点 A から点 C までの水平距離 S を求めるため、点 A から点 B までの斜距離 D と高度角 α を測定した。それぞれの測定値及びその標準偏差を表 7 のとおりとすれば、水平距離 S の標準偏差はいくらか。

最も近いものを次の中から選べ。

ただし、1 ラジアンは、2″ ×10^5とする。

なお、関数の数値が必要な場合は、巻末の関数表を使用すること。

表 7

測定項目	測定値	標準偏差
D	1,000.00m	0.02m
α	+30° 0’0”	10″

1. 0.01m
2. 0.02m
3. 0.03m
4. 0.04m
5. 0.05m

解答 3

誤差⑲

距離 S と角 t の重量

測距の精度$\sigma_s = 1/10{,}000$

測角の精度(標準偏差σ_t)＝4”

$$1/P_t : 1/P_S = \sigma_t^2 : \sigma_S^2 = (4'')^2 : (\frac{\rho''}{10000})^2 = 1 : 0.04$$

$P_S : P_t = 1 : 0.04 = 25 : 1$

P_s:距離の重量

σ_s:距離の標準偏差

P_t:角の重量

σ_t:角の標準偏差

誤差⑳

測距儀の標準偏差

$\sigma_s = \pm 10\text{mm} \pm 5 \times 10^{-6} \times D$

D=300m の場合:

$\sigma_s^2 = 100\text{mm} + 25 \times 10^{-12} \times 9 \times 10^{10} \times 9 \times 10^{10}$

$= 100 + 25 \times 10^{-2} = 100.25$

$\sigma_S = \sqrt{100.25}$　　$\sigma_S = 10.1$（mm）

誤差㉑

〇一対回正反の標準偏差

一対回正反の平均

$$\alpha = \frac{r + \ell}{2}$$

$$\sigma_{\alpha\alpha} = \frac{\sigma_{rr}}{4} + \frac{\sigma_{\ell\ell}}{4} = \frac{2\sigma_{rr}}{4} = \frac{\sigma_{rr}}{2}$$

より

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{2}}$$

〇3 対回での標準偏差

3 対回正反の平均

$$\alpha = \frac{1}{3}\left(\frac{r_1 + \ell_1}{2} + \frac{r_2 + \ell_2}{2} + \frac{r_3 + \ell_3}{2}\right)$$

$$\sigma_{\alpha\alpha} = \frac{3}{9}\left(\frac{\sigma_{rr}}{4} + \frac{\sigma_{\ell\ell}}{4}\right) = \frac{2\sigma_{rr}}{12} = \frac{\sigma_{rr}}{6}$$

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{6}}$$

誤差㉒

n 対回平均値の標準偏差

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$$

誤差㉓

セット平均値の標準偏差

1セットの標準偏差が 8mm の観測を9セット行うと:

$$\sigma = \frac{8}{\sqrt{9}} = 2.7(\text{mm})$$

誤差㉔

n個の観測方程式でm個の未知数をもつ場合の標準偏差

$$\sigma = \sqrt{\frac{[pvv]}{n - m}}$$

誤差㉕

誤差㉖

水準測量の重量p

$$k^2 = \frac{\sigma^2}{s}$$

σ :標準偏差、s:路線長

より

$$\sigma^2 = k^2 s = \frac{1}{p}$$

∴水準路線の重量(信頼性)は

$$p = \frac{1}{s}$$

といえる。

誤差㉗

環閉合差の制限値

$w < k\sqrt{S}$

w:環閉合差(mm)

S:全路線距離(km)

1級水準測量

$w < 2mm\sqrt{S}$

誤差㉘

往復差の制限値

$w < k\sqrt{S}$

w:往復差(mm)

S: 全路線距離(km)

1級水準測量

$w < 2.5mm\sqrt{S}$

誤差㉙

水準測量は観測数の2倍である

$n = \frac{S}{2L}$

L:視準距離(レベル標尺間)

S:水準点間距離

n:観測回数

誤差㉚

同区間を4等分した観測精度は，起終点を直接観測した精度の2倍である

誤差㉛

位置誤差:距離誤差と角誤差

$dr^2 = ds^2 + da^2$

dr:位置誤差
ds:距離誤差
da:角誤差

誤差㉜

観測方程式法のパラメータの誤差

観測方程式 AX=f
補正値方程式v＝AX−f
正規方程式$(A^tWA)X = A^tWf$
又は$NX = F$　ここで$N = A^tWA$、W:重量行列、
X=パラメータ
$X = N^{-1}f$
パラメータのコファクタ行列→

(重量行列の逆行列)G^{XX}＝$W_{XX} = N^{-1}$

パラメータの精度(分散共分散行列)

V_{XX}＝$\sigma_0^2 G^{XX}$　:

V_{XX}　行列において対角要素は分散、その他の要素は共分散を表す。

不偏分散$\sigma_o^2 = \frac{v^tWv}{n-r}$:単位重量当たりの分散

n:観測方程式の数
r:パラメータの数

誤差㉝

○往復観測の距離 X の重み$p_{XX} = 1/g^{XX}$
片道観測の重み$p_{xx} = 1$ とする。

$X = \frac{x_1+x_2}{2}$ より,両辺を平方して記号変更し

コファクタ$g^{XX} = \frac{g^{x1x1}}{4} + \frac{g^{x2x2}}{4} = \frac{2g^{xx}}{4} = \frac{g^{xx}}{2}$

$\therefore p_{XX} = \frac{1}{g^{XX}} = \frac{2}{g^{xx}} = 2$

誤差㉞

誤差＝観測値−真値
残差＝観測値−最確値
補正値＝最確値−観測値
最確値:算術平均値，重量平均値，最小二乗法で求めた値など

○分類

①定誤差(系統誤差):一定の誤差，例は
温度変化に伴うスチールテープの伸縮誤差，数学モデルによりこの誤差は取り除ける。
②偶然誤差:観測値から定誤差，過失を除いた後に依然として残る小さなばらつき誤差(ガウスの正規分布の法則を適用)，標準偏差，分散で表す。
③過失:①，②以外の大きな誤差，法則はない。
ただし，逆に推測できる定誤差，偶然誤差を超える場合と考えることができる。

誤差㉟

(直線回帰)

〔パラメータ(a,b)の誘導〕

測定点 Pi の残差(v_{yi})は回帰直線$y_i = ax_i + b$ に対し y 軸方向に交わっている。P_iのy座標はy_iであり，回帰直線上の座標は$ax_i + b$ を表すので，残差は次式で表すことができる。

$v_{yi} = a \cdot x_i + b - y_i$　　…(1)

ただし，**推定直線の勾配**は$a = \tan\theta$(θ :水平からの角度)である。

[最小二乗法の適用]

ガウス・ルジャンドルによる最小二乗法(least squares method)は「重み付き残差二乗和を最小にすること」であり，これを式で表すと次のようになる。

$f = \sum(p_{yi}v_{yi}^2) \rightarrow \min.$　　…(2)

また，観測値の重量(weight)(p_{yi})がそれぞれ等しい場合(同じ精度)，$p_{yi} = 1$とおけるので，

$f = \sum(v_{yi}^2) \rightarrow \min.$

$f = \sum(ax_i + b - y_i)^2 \rightarrow \min.$ …(3)

と簡単になる。

[パラメータ(a,b)の決定]

測定値$P_i(x_i, y_i)$が最適にフィットする直線式$y_i = ax_i + b$の推定は，$\sum(v_{yi}^2)$を最小にするパラメータ(a, b)を求めることである。つまり，式(3)における f を a と b でそれぞれ偏微分してゼロとおく方程式をつくればよい。
すなわち，

$\frac{\partial f}{\partial a} = 0$ ， $\frac{\partial f}{\partial b} = 0$　　…(4)

そこで，これらに式(1)の右辺を代入すると，

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial a}&=\frac{\partial \sum(v_{yi}^2)}{\partial a}=\frac{\partial \sum(a\cdot x_i+b-y_i)^2}{\partial a}=0\\ \frac{\partial f}{\partial b}&=\frac{\partial \sum(v_{yi}^2)}{\partial b}=\frac{\partial \sum(a\cdot x_i+b-y_i)^2}{\partial b}=0\end{aligned}\right\}$$

または

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial f}{\partial a}&=\sum(2x_i)\,(a\cdot x_i+b-y_i)=0\\ \frac{\partial f}{\partial c}&=\sum(2)\,(a\cdot x_i+b-y_i)=0\end{aligned}\right\}$$

したがって，これらを整理すると

$$\left.\begin{aligned}a[x_i^2]+b[x_i]-[x_iy_i]&=0\\ a[x_i]+nb-[y_i]&=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots(5)$$

これを行列で表すと

$$\begin{pmatrix}[x_i^2] & [x_i]\\ [x_i] & n\end{pmatrix}\begin{pmatrix}a\\ b\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}[x_iy_i]\\ [y_i]\end{pmatrix}\quad\cdots(6)$$

または NX=B と表して、これを解くと

$X=N^{-1}B$

$$\therefore X=\begin{pmatrix}a\\ b\end{pmatrix}=\frac{\begin{pmatrix}n & -[x_i]\\ -[x_i] & [x_i^2]\end{pmatrix}\begin{pmatrix}[xy]\\ [y]\end{pmatrix}}{n[x_i^2]-[x_i]^2}=\begin{pmatrix}\frac{n[x_iy_i]-[x_i][y_i]}{n[x_i^2]-[x_i]^2}\\ \frac{-[x_i][x_iy_i]+[x_i^2][y_i]}{n[x_i^2]-[x_i]^2}\end{pmatrix}$$

…(7)

又は

$$a=\frac{[x_iy_i]-{[x_i][y_i]}/{n}}{[x_i^2]-{[x_i]^2}/{n}}=\frac{S_{xy}}{S_x^2}$$

$$S_{xy}=[x_iy_i]-{[x_i][y_i]}/{n}$$

$$S_x^2=[x_i^2]-{[x_i]^2}/{n}$$

$$b=\bar{y}-a\bar{x}$$

$$\bar{x}=\frac{[x_i]}{n}$$

$$\bar{y}=\frac{[y_i]}{n}$$

誤差㊱

点CのX，Y座標の標準偏差

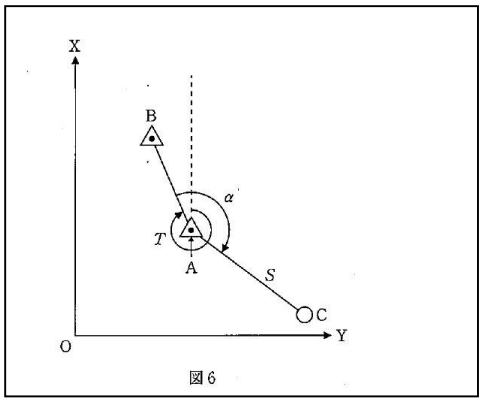


図 6

α ＝150° 00’00”、σ_α＝5”

S=1,200.00m、σ_S=4cm

T の標準偏差は 5”とする。

$$X_C=X_A+S\cdot\cos(T+\alpha-360)$$

$$Y_C=Y_A+S\cdot\sin(T+\alpha-360)$$

テーラー展開すると

$$\Delta X_C=\frac{\partial X_C}{\partial S}\Delta S+\frac{\partial X_C}{\partial \alpha}\Delta\alpha+\frac{\partial X_C}{\partial T}\Delta T$$

$$\Delta Y_C=\frac{\partial Y_C}{\partial S}\Delta S+\frac{\partial Y_C}{\partial \alpha}\Delta\alpha+\frac{\partial Y_C}{\partial T}\Delta T$$

$$\Delta X_C=\cos(T+\alpha-360)\,\Delta S-S\sin(T+\alpha-360)\Delta\alpha-S\sin(T+\alpha-360)\Delta T$$

$$\Delta Y_C=\sin(T+\alpha-360)\,\Delta S+S\cos(T+\alpha-360)\Delta\alpha+S\cos(T+\alpha-360)\Delta T$$

両辺を平方して分散に記号に直すと

$$\sigma_X^2=\cos^2(T+\alpha-360)\,\sigma_S^2+S^2sin^2(T+\alpha-360)\sigma_\alpha^2+S^2sin^2(T+\alpha-360)\sigma_T^2$$

$$\sigma_X^2=cos^2120^o\times4_{cm}^2+2\times120{,}000_{cm}{}^2sin^2(120^o)\times(5"/(2"\times10^5))^2$$

$$=(1/2)^2\times4^2+2\times12^2\times10^8\times(\sqrt{3}/2)^2\times5^2/2^2\times10^{-10}$$

$$=4+13.5=17.5$$

$$\sigma_X=4.18\text{cm}$$

$$\sigma_Y^2=\sin^2(T+\alpha-360)\,\sigma_S^2+S^2cos^2(T+\alpha-360)\sigma_\alpha^2+S^2cos^2(T+\alpha-360)\sigma_T^2$$

$$\sigma_Y^2=sin^2120^o\times4_{cm}^2+2\times120{,}000_{cm}{}^2cos^2(120^o)\times(5"/(2"\times10^5))^2$$

$$=12+2\times2.25=16.5$$

$$\sigma_Y=4.06\text{cm}$$

誤差㊲

夾角の標準偏差を求める。

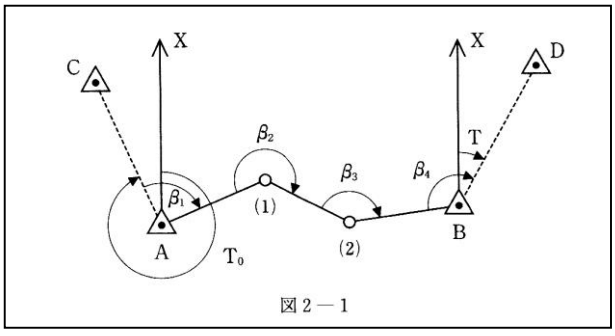


図 2－1

ただし、距離は平面直角座標系上の距離に補正済であり、角度1ラジアンは、2”×10^5とする。

T の標準偏差は 5”とする。

$X_C = X_A + S \cdot \cos(T + \alpha - 360°)$

$Y_C = Y_A + S \cdot \sin(T + \alpha - 360°)$

テーラー展開すると

$$\Delta X_C = \frac{\partial X_C}{\partial S}\Delta S + \frac{\partial X_C}{\partial \alpha}\Delta\alpha + \frac{\partial X_C}{\partial T}\Delta T$$

$$\Delta Y_C = \frac{\partial Y_C}{\partial S}\Delta S + \frac{\partial Y_C}{\partial \alpha}\Delta\alpha + \frac{\partial Y_C}{\partial T}\Delta T$$

$\Delta X_C = \cos(T + \alpha - 360°)\,\Delta S - S\sin(T + \alpha - 360°)\Delta\alpha - S\sin(T + \alpha - 360°)\Delta T$

$\Delta Y_C = \sin(T + \alpha - 360°)\,\Delta S + S\cos(T + \alpha - 360°)\Delta\alpha + S\cos(T + \alpha - 360°)\Delta T$

両辺を平方して分散に記号に直すと

$\sigma_X^2 = \cos^2(T + \alpha - 360°)\,\sigma_S^2 + S^2 sin^2(T + \alpha - 360°)\sigma_\alpha^2 + S^2 sin^2(T + \alpha - 360°)\sigma_T^2$

$\sigma_X^2 = cos^2 120^o \times 4_{cm}^2 + 2 \times 120{,}000_{cm}{}^2 sin^2(120^o) \times (5"/(2" \times 10^5))^2$

$=(1/2)^2 \times 4^2 + 2 \times 12^2 \times 10^8 \times (\sqrt{3}/2)^2 \times 5^2/2^2 \times 10^{-10}$

$=4 + 13.5 = 17.5$

$\sigma_X = 4.18\text{cm}$

$$\sigma_Y^2 = \sin^2(T + \alpha - 360°)\,\sigma_S^2 + S^2 cos^2(T + \alpha - 360°)\sigma_\alpha^2 + S^2 cos^2(T + \alpha - 360°)\sigma_T^2$$

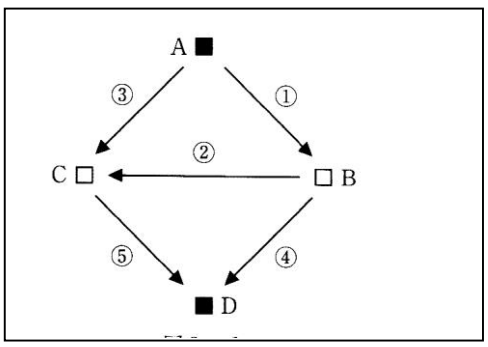
$\sigma_Y^2 = sin^2 120^o \times 4_{cm}^2 + 2 \times 120{,}000_{cm}{}^2 cos^2(120^o) \times (5"/(2" \times 10^5))^2$

$=12 + 2 \times 2.25 = 16.5$

$\sigma_Y = 4.06\text{cm}$

誤差㊳

(水準網)



水準点 A:$H_A = 8.000\text{m}$

水準点 D:$H_D = 15.000\text{m}$

路線	距離	観測高低差
①	10km	+5.429m
②	10km	−3.002m
③	10km	+2.426m
④	10km	+1.570m
⑤	10km	+4.573m

(観測方程式)

未知量:H_B,H_C

$H_B = H_A + h_1$ ➪$v_1 = H_B - (H_A + h_1')$

$H_C = H_B + h_2$ ➪$v_2 = -H_B + H_C - (h_2')$

$H_C = H_A + h_3$ ➪$v_3 = H_C - (H_A + h_2')$

$H_B = H_D - h_4$ ➪$v_4 = -H_B - (-H_D + h_4')$

$H_C = H_D - h_5$ ➪$v_5 = -H_C - (-H_D + h_5')$

ただし、h_i'は観測高低差の近似値

上の式の右辺を計算し、行列にすると次の観測方程式 v=AX−f が得られる。

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_B \\ H_C \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 13.428 \\ -3.002 \\ 10.426 \\ -13.430 \\ -10.427 \end{pmatrix}$$

(正規方程式)$A^T WAX = A^T Wf$

又は$NX = F$

$$W = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 10 & 0 & 0 & 0 \\ & & 10 & 0 & 0 \\ & & & 10 & 0 \\ \text{対称} & & & & 10 \end{bmatrix} = 10I$$

I:単位行列

$$A^T AX = A^T f$$

$$NX = F$$

$$10\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} H_B \\ H_C \end{bmatrix} = 10\begin{bmatrix} 29.860 \\ 17.851 \end{bmatrix}$$

$$N^{-1} = \begin{bmatrix} 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} H_B \\ H_C \end{bmatrix} = N^{-1}F =$$

$$\begin{bmatrix} 0.375 & 0.125 \\ 0.125 & 0.375 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 29.860 \\ 17.851 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13.4289 \\ 10.4266 \end{bmatrix}$$

測量士

〔No.5〕機器①TS 等

セオドライト、光波測距儀、トータルステーション（TS）、

スチールテープ

（セオドライト）

セオドライト①

①セオドライト（TS）の構造は，鉛直軸、水平軸，視準軸から成り立っており，これをセオドライトの3軸という。
②セオドライトの主要部分には，水平角や鉛直角を測る水平目盛盤や鉛直目盛盤，さらに鉛直軸を鉛直にするためのプレートレベル（上盤気泡菅）がついている。

セオドライト②

①視準軸誤差（c）:視準軸は，対物レンズ中心を通り水平軸に直交する軸。視準線とは対物レンズ中心と十字線とを結んだ線。
視準軸誤差は視準軸と視準線との違い。

$$(c) = \frac{c}{\cosh}$$

c:視準線の傾き
h:高度
→正反観測で消去
②水平軸誤差（i）:視準線と水平軸が直交し，鉛直軸と水平軸との直交からｉだけ傾いている場合を考える。これを水平軸誤差という。

$$(i) = i \cdot \tanh$$

→正反観測で消去
③鉛直軸誤差(v):視準線⊥水平軸，水平軸⊥鉛直軸の場合に，鉛直軸が鉛直方向からvだけ傾いている場合を考える。セオドライトの最大傾斜方向に視準線が傾いたときには，その方向では誤差が生じないが，最大傾斜の方向から 90 度方向には最大の誤差が起こる。鉛直軸が鉛直方向から傾いているために水平角読定値に影響する誤差をいう。

$$(v) = v \cdot \sin u \cdot \tan h$$

v:鉛直軸の鉛直線からの傾き
u:鉛直軸の最大傾斜方向からの角度
h:目標の高度角
→望遠鏡正反の観測では消去できない。
④外心誤差:視準線が，回転軸の鉛直軸の中心（O）からrだけ外れている場合には，目標A,Bに対して外心誤差
δ′, δが起こる。

$$\delta' = \frac{r}{S_B}$$

$$\delta = \frac{r}{S_A}$$

→正反観測で消去
⑤偏心誤差:目盛盤の中心（O）からはずれた位置に鉛直軸（回転軸）の中心がある場合には，水平角測定値に誤差が生じる。しかし，対称位置に A,B の対向測微装置（読定装置）があり，180 度対称位置が読定されれば，夾角には偏心誤差は含まれない。
→測微装置が 1 つでも正反観測で消去

鉛直角観測では望遠鏡正，反における望遠鏡の回転角は θ であり，180 度の回転は行わないから測微装置の位置は 180 度の対向位置には来ない。したがって，鉛直角観測では測微装置 1 個の場合には偏心誤差は消去されない。
⑥目盛誤差:目盛盤の目盛間隔が不等のために，使用する目盛の位置によって測定値が変わる。これを目盛誤差という。最近は写真技術を用いる目盛技術が発達し，大きな目盛誤差はなくなった。
目盛の製作技術の観点から周期性がアトランダムであると考え，目盛誤差を消去するため目盛の全部を等分した位置で観測し，これらの平均値で，目盛誤差を近似的に減らす手法を使用する。
n対回観測の場合，180 度/nだけずらして観測する。

セオドライト③

○正反観測の平均値で消去できる誤差
水平軸誤差:
水平軸と鉛直軸が直交していない
視準軸誤差:
視準軸と視準線が一致していない
目盛盤の偏心誤差:
目盛盤の中心が鉛直軸の中心と一致していない
望遠鏡の偏心誤差:
望遠鏡の視準線が鉛直軸の中心から外れている
○正反観測の平均値で消去できない誤差
鉛直軸誤差:
　鉛直軸の方向が鉛直線の方向に一致していない
目盛誤差:目盛盤の目盛間隔が均一でない
ゆらぎによる誤差:
　空気密度の不均一さによる目標像のゆらぎ

セオドライト④

○機能点検
光学求心装置にふらつきが無く正常なこと
各軸の回転が円滑であること

気泡管の調整機構が正常で，気泡の移動が滑かなこと
望遠鏡の視度調整機構が円滑で，測量中に視度の変化がないこと
水平鉛直角の読取装置が正常なこと

セオドライト⑤

〇水平角の検定
3方向に 0 ˚,60 ˚,120 ˚,及び 30 ˚,90 ˚,150 ˚の3対回を1セットの観測を2セット行い、各セットの倍角差、観測差、中数値(T1-T2)を検定する

セオドライト⑥

〇鉛直角の検定
3個の目標を1対回観測し，
高度定数の較差を検定する

セオドライト⑦

〇視差の消去
十字線を見て合焦(焦準)ネジで調整する
視度調整1回，平均距離の方向を零方向とし，視度調整を行い，全方向を観測する

セオドライト⑧

〇水平角の許容値

基準点	TS	対回数	観測差	倍角差
1級	1 級	2	8”	15″
2級	2	2	10	20″
2級	2	3	20	30
3級	2	2	20	30
4級	3	2	40	60

セオドライト⑨

〇鉛直角の許容値

基準点	セオドライト	対回	高度定数較差
1級		1	10”
2級	1級	1	15”
2級	2級	1	30”
3級		1	30”
4級		1	60”

セオドライト⑩

〇視差の消去
十字線をを見て合焦(焦準)ネジで調整する
視度調整1回，平均距離の方向を零方向とし，視度調整を行い，全方向を観測する

(光波測距儀)

光波測距儀①

〇機能点検
光学求心装置にフラツキがなく正常であること
デジタル表示ランプが正常であること
モニタメーターの表示が正常範囲内であること

光波測距儀②

〇比較検定
国土地理院の電磁波測距儀比較基線場
または 50m 比較基線場で3セット，測定平均値と基線長の差を検定する
〇距離の許容値
電磁波測距儀比較基線場:15mm
50m 比較基線場:15mm

光波測距儀③

1)光波測距儀の原理
距離 D=速さ v×時間tより、A から B に向け光を放ち、この光が B の鏡に反射して再び A に戻るまでの時間を T、光速度を V とすると AB の距離 D は

$$D = \frac{v \cdot T}{2}$$

…(1)
上の式から距離を 1cmの精度で測定するには、光の速度が 30 万km/秒なので、

$$\frac{1cm \times 2}{3 \times 10^{10} cm} \approx 7 \times 10^{-11} 秒$$

の精度で測定しなければならない。
2)物理の法則

$$v = f \cdot \lambda$$

…(2)
v:波の進む速さ 単位＝m/s
f:波の振動周波数 単位＝回/秒＝Hz
λ:1 波長の長さ 単位＝m
これは、1回の振動でλ(m)進む波が1秒間に振動するので、1秒間にf・λ(m)進む。また、1秒間にf回振動する波は、逆に1回の振動に1/f 秒が必要になる。

波長λの波が 2 点間の距離 D を往復する場合、もしもλが 3 個入る場合
2D=3λ

$$\therefore D = \frac{3}{2}\lambda$$

少し移動した場合
2D=2λ+d
λはn回ならば
2D＝nλ+d…(3)
仮に、1 波長λを角度 360°（2π）として、dがφ（ラジアン）に対応するとすると

$$d = \frac{\lambda\varphi}{2\pi}$$

これを用いて、(3)を書きなおすと

$$2D = n\lambda + \frac{\lambda\varphi}{2\pi}$$

$$\mathbf{D = \frac{n\lambda}{2} + \frac{\lambda\varphi}{4\pi}}$$

…(4)
これが、光波測距儀の一般式である。
周波数がfの場合、1 振動の時間が 1/f秒なので、T=1/fと表すと、(2)から

$$\lambda = \frac{v}{f} = vT$$

…(5)
(4)に入れると

$$D = \frac{nvT}{2} + \frac{\varphi vT}{4\pi}$$

$$= \left(\frac{n}{2} + \frac{\varphi}{4\pi}\right) vT$$

…(6)
n/2、φ/(4π)は測定距離から求められる定数なので、

$$K = \left(\frac{n}{2} + \frac{\varphi}{4\pi}\right)$$

とおくと、(6)は

$$D = KvT$$

…(7)
vと T は一定なので、定数 K を求めると D が求められる。

光波測距儀④

測定距離と分解能
光波測距儀での光は、近赤外の 750～900nm付近の波長でる。上に述べた波長λではない。これでは波長が短すぎて距離が測定できない。発光時の周波数fで強弱を与え（振幅変調、周波数fを変調周波数という）、この強弱で生じる山から山、又は谷から谷の 1 波長がこのでのλである。
光の強の間を点灯、弱の間を消灯とする。変調周波数f＝10MHzとすると、$1/f=10^{-7}$ 秒であるから、0.5×10^{-7} 秒間消灯する。これを連続して繰り返す光は、

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3\times10^8\mathrm{m}}{10\mathrm{MHz}} = 30\mathrm{m}$$

となる。
λ＝30mとすると、λ/2＝15mであるから、n=0 とすると、0～15m間の距離が測定できる。2πラジアンを 1 万分割して位相差を求めると

$$\frac{\lambda}{2}\times\frac{1}{2\pi} = 15\mathrm{m}\times\frac{1}{10000} = 1.5\mathrm{mm}$$

まで計測できる。これが光波測距儀の分解能である。
1mmの分解能にするには、分割数を 1 万、変調周波数f＝15MHzとするか、

$$\lambda = \frac{3\times10^8\mathrm{m}}{15\times10^6\mathrm{Hz}} = 20\mathrm{m}$$

$$\frac{\lambda}{2}\times\frac{1}{10000} = \frac{20\mathrm{m}}{2}\times\frac{1}{10000} = 1\mathrm{mm}$$

分解能		
変調周波数	測定距離	分解能
30MHz	5m	0.5mm
10MHz	15m	1.5mm
100kHz	1.5km	150mm
10kHz	15km	1.5m

光波測距儀⑤

光波測距儀での距離測定（5km以内）
電気回路の問題で 1 万以上細かくすることができない。通常は 4000～5000 分割である。そのため、2～3 の変調周波数を用いて、測定値を合成する。たとえば、変調周波数を 15MHzと 50kHz の周波数、分割数を 1 万とすると、

$$\lambda_A = \frac{3\times10^8\mathrm{m}}{50\mathrm{kHz}} = 6000\mathrm{m}$$

$$\lambda_B = \frac{3\times10^8\mathrm{m}}{15\mathrm{MHz}} = 20\mathrm{m}$$

つまり、$\frac{\lambda_A}{2} = 3\mathrm{km}, \frac{\lambda_B}{2} = 10\mathrm{m}$

また、$\frac{\lambda_A}{2}\times\frac{1}{10000} = 0.3\mathrm{m}, \frac{\lambda_B}{2}\times\frac{1}{10000} = 1\mathrm{mm}$

となり、1mmの単位で 0～3kmの距離が計測できる。今、測定距離を 2563.524mとすると、
15MHz＝3.524m
50kHz=2563.3m
より、2563.524mと表示する。

光波測距⑥

10km以上の距離測定
変調周波数 f_A=30MHz,f_B=30MHz−1MHz,f_C=30MHz−30kHz とすると、それぞでは波長は
$\lambda_A=C/f_A, \lambda_B=C/f_B, \lambda_C=C/f_C$…(8)
ここで、C＝光の速度

各々の周波数で距離 D を測定すると
$2D=\lambda_A n_A+\lambda_A\phi_A/(2\pi)$
$2D=\lambda_B n_B+\lambda_B\phi_B/(2\pi)$
$2D=\lambda_C n_C+\lambda_C\phi_C/(2\pi)$
ただし、ϕ_A、ϕ_B、ϕ_C はそれぞれの周波数で測定された位相差である。
又は
$2D/\lambda_A=n_A+\phi_A/(2\pi)$
$2D/\lambda_B=n_B+\phi_B/(2\pi)$
$2D/\lambda_C=n_C+\phi_C/(2\pi)$
これより
$n_A-n_B=2D(1/\lambda_A-1/\lambda_B)-\{\phi_A/(2\pi)-\phi_B/(2\pi)\}$
今、$n_A-n_B=0$,つまり $n_A=n_B$ とすると

$$D=\frac{\varphi_A/2\pi-\varphi_B/2\pi}{2(1/\lambda_A-1/\lambda_B)}$$

…(9)
(8)の式で書き直すと

$$1/\lambda_A-1/\lambda_B=\frac{1}{C}(f_A-f_B)$$

…(10)

$$D=\frac{C}{2(f_A-f_B)}\left(\frac{\varphi_A}{2\pi}-\frac{\varphi_B}{2\pi}\right)$$

…(11)
fA,fB に値を代入すると

$$D=\frac{3\times10^8\mathrm{m}}{2\times1\mathrm{MHz}}\left(\frac{\varphi_A}{2\pi}-\frac{\varphi_B}{2\pi}\right)$$
$$=150\left(\frac{\varphi_A}{2\pi}-\frac{\varphi_B}{2\pi}\right)(\mathrm{m})$$

となり、150mまで測定できる。
同様にして、fA,fC から

$$D=\frac{3\times10^8\mathrm{m}}{2\times30\mathrm{kHz}}\left(\frac{\varphi_A}{2\pi}-\frac{\varphi_C}{2\pi}\right)$$
$$=5000\left(\frac{\varphi_A}{2\pi}-\frac{\varphi_C}{2\pi}\right)(\mathrm{m})$$

となり、5kmまで測れる。

光波測距儀⑦

光＝波動

波形において、振幅 A、周波数f、周期 T、波長 λ は次のように定義される。
振幅 A は振動の最大変位、周波数fは 1 秒間における振動数、周期 T は 1 回の振動に要する時間で T=1/f、波長 λ は山から山、谷から谷の同じ点間の距離である。波の進行方向に対して、ある点 a に注目すると、この点において 1 回単振動する間に波は 1 波長 λ だけ進む。したがって、波の進行速度をvとすると、

$$v=f\lambda=\frac{\lambda}{T}$$

…(12)
が成り立つ。

光波測距儀⑧

真空中の光の速さ

C=299 792 458(m/s)
光の速さと屈折率の関係
ある媒質 a から他の媒質 b に光が進むとき、その境界面で進行方向が変わる現象を光の屈折と呼び、入射角 i と屈折角 r の間には

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{n_2}{n_1}=n_{12}$$

…(13)
という屈折の法則が成り立つ。ここで、このn12 を媒質bの媒質 a に対する相対屈折率という。a が真空の場合、媒質bの絶対屈折率という。n1、n2 は媒質 a,b の絶対屈折率である。
個の屈折率(絶対屈折率)は、また真空中の光の速さC、その媒質中の光の速さをvとしたとき、

$$n=\frac{C}{v}$$

…(14)
としても定義される。又は、

$$v=\frac{C}{n}$$

…(15)
であり、屈折率nの媒質中の光の速さvは、真空中の光の速さ C に比べ 1/nになる。

光波測距儀⑨

大気の屈折率

真空中での光の速さをC、ある媒質中の光の速さをvとしたとき、その媒質の屈折率nは

$$n=\frac{C}{v}$$

…(16)
光波測距儀で距離を測定する場合、距離をD、光の速さをv、距離 D を光波が往復する時間を t とすると、

$$D=\frac{t}{2}v$$

…(17)
の関係があり、(15)を用いて変形すると

$$D=\frac{tC}{2n}$$

…(18)

光波測距儀⑩

光波の波長と空気の屈折率との関係

ある媒質中を光波が通過する場合を考えると、この媒質の光波に対する屈折率は(16)で表わされる。光波の波長との関係を考

えると、**同じ媒質中での光の速さは波長の短い光ほど小さく**なる。つまり、同じ媒質に対する屈折率は波長の短い光ほど大きくなる性質がある。媒質として空気を考えると、**光波の波長と屈折率の関係**式として、次の Ballel&Sears の式が、1963 年国際測地学地球物理学連合(IUGG)で採択された。

$$(n-1)\times 10^7 = 2876.04 + \frac{16.288}{\lambda^2} + \frac{0.136}{\lambda^4}$$

…(19)

ただし、n:0℃、760mmHg、0.03%CO2 の空気の屈折率、λ:光波の実効波長(μm)

光波測距儀⑪

気温、気圧と空気の屈折率との関係

空気の屈折率は、気温・気圧の違いによって変化し、それは気圧に比例し、気温に反比例する。

空気の屈折率nと気温 t(℃)、気圧(mmHg)との間には

$$(n-1) = A\frac{P(1+\beta_t P)}{1+\alpha t}$$

…(20)

ただし、$\alpha = 0.003661$、$\beta_t = (1.049 - 0.0157t)\times 10^{-6}$ の関係がある。α は空気の膨張係数、A は定数である。

今、気温・気圧を 0(℃)、760(mmHg)とし、その時の気温、気圧、屈折率をそれぞれ to,Po,no と書くと、任意の気温t(℃)、気圧(mmHg)における**空気の屈折率$n_{t,p}$**は(20)より

$$(n_{t,p} - 1) = (n_o - 1)\frac{P(1+\alpha t_o)(1+\beta_t P)}{P_o(1+\alpha t)(1+\beta_{to}P_o)}$$

…(21)

空気の屈折率は、空気中に水蒸気が含まれる場合には、その水蒸気によっても若干変化する。

気圧 P のうち、水蒸気分圧を e とすると、水蒸気を考慮した場合の、**空気と水蒸気の混合気体の屈折率**は次のように表される。

$$(n-1) = (n_{15,760} - 1)\frac{P(1+15\alpha)(1+\beta_t P)}{760(1+\alpha t)(1+760\beta_{to})} - \frac{0.0624 - \dfrac{0.000680}{\lambda_0^2}}{1+\alpha t} e\times 10^{-6}$$

…(22)

ただし、

$n_{15,760}$:気温 15℃、気圧 760mmHg における空気の屈折率

λ_0:真空中の光波の波長(μm)

t:気温(℃)

P:気圧(mmHg)

e:水蒸気分圧(mmHg)

ここで、(22)において、光波を可視光領域とすると

$$0.0624 - \frac{0.000680}{\lambda_0^2} \approx 0.0556$$

で近似できる。

光波測距儀⑫

群速度

式(19)の光波と屈折率との関係式は、光波の波長が単一波長の場合である。実際の光波測距儀の場合、光波は単一波長ではなく、ある波長の幅を持っている。

波長に幅がある場合、少しずつ異なる単一の光波が重なり合っている。空気中での伝播においては式(19)で明らかなように、各々の波長の光波については屈折率が異なり、伝播速度も異なる。

このようなとき、合成された光波の伝播速度を考える必要があり、この速度は群速度と呼ばれ、光波のエネルギーが進行していく速度と考える。群速度を vg とすると、

$$v_g = v - \lambda\frac{dv}{d\lambda}$$

…(23)

と定義される。式(14)と同様に

$$n_g = \frac{C}{v_g}$$

…(24)

により屈折率n_gが定義され、これが群速度に対する屈折率になる。

(23)はn_gを用いて、

$$n_g = n - \lambda\frac{dn}{d\lambda}$$

…(25)

と変換できる。

実際の光波測距儀のように、光波の波長に幅がある場合、空気中での伝播速度及び屈折率としては、群速度及び群速度に対する屈折率を使用しなければならない。単一波長の屈折率が(19)で与えられる場合、群速度に対する屈折率は(25)を用いて

$$(n_g - 1)\times 10^7 = 2876.04 + \frac{3\times 16.288}{\lambda^2} + \frac{5\times 0.136}{\lambda^4} = 2876.04 + \frac{48.864}{\lambda^2} + \frac{0.680}{\lambda^4}$$

…(26)

で求められる。

屈折率として群速度に対する屈折率を考えると、空気と水蒸気の混合気体の屈折率は、(22)を用い、近似化して、次式で表せる。

$$(n-1) = \frac{n_g - 1}{1+\alpha t}\frac{P}{760} - \frac{0.055e}{1+\alpha t}10^{-6}$$

…(27)

ただし、n_g:気温0℃、気圧 760mmHg、0.03%CO2 における空気の群速度に対する屈折率、

t:気温(℃)

P:気圧(mmHg)

e:水蒸気分圧(mmHg)

α：空気の膨張係数、α＝0.003661

光波測距儀⑬

気象補正

光波が大気中を伝播する場合、気温、気圧及び水蒸気分圧により、大気の屈折率及びその大気中での速度が異なる。したがって、光波測距儀で距離を測定する場合、大気の屈折率と光の速さの変化を考慮しなければ、測定距離の誤差として入り込んでくる。このことから、実際の光波測距儀では、その求められる測定値は、ある気象条件を標準状態にした大気に対するものであって、測定時の気温、気圧、水蒸気分圧がそれと異なれば、これに対する補正を行って、正しい距離を求めることにあなる。この補正を気象補正という。

正しい距離を D,真空中での光の速さを C、距離 D を光波が往復する時間をt、実際の観測時の大気の屈折率をnとすると、(18)より

$$D = \frac{tC}{2n}$$

…(28)

であり、また実際の光波測距儀で設定されている標準状態の大気に対する標準屈折率を ns,この大気中の光の速さを vs とすると

$$n_s = \frac{C}{v_s}$$

…(29)

であり、測定距離を Ds とすると、

$$D_S = \frac{t}{2}v_s$$

…(30)

となる。ただし、D_Sは見かけの距離である。

したがって、正しい距離 D は(28)、(29)、(30)より

$$D = D_s\frac{n_s}{n}$$

…(31)

そしてn_s,n について

$n_s = 1 + \Delta s$…(32)

$n = 1 + \Delta n$…(33)

とおいて、**正しい距離 D** は(31)を変形して

$$D = D_s + D_s(\Delta s - \Delta n)$$

…(34)

(27)からΔ s及びΔ nを求めて、(34)で D が求められる。

気象補正の一例は、光の波長 λ ＝0.815 μ mと仮定すると、群速度に対する屈折率 ng は(26)より

$$(n_g - 1) \times 10^7 = 2876.04 + \frac{48.864}{0.815^2} + \frac{0.680}{0.815^4}$$
$$= 2951.1467$$

この ng を用いて(27)よりΔ sとΔ nを求めるが、水蒸気分圧による影響が小さいので

$$(n-1) = \frac{n_g - 1}{1+\alpha t}\frac{P}{760} - \frac{0.055e}{1+\alpha t}10^{-6}$$
$$\approx \frac{n_g - 1}{1+\alpha t}\frac{P}{760} - 0.6 \times 10^{-6}$$

…(35)

と近似化できる。今、標準状態の大気を気温 15(℃)、気圧 760(mmHg)とすると、標準屈折率 n_s におけるΔ sは、(35)より

$$n_s - 1 = \Delta s = \frac{2951.1467 \times 10^{-7}}{1 + 0.003661 \times 15}\frac{760}{760} - 0.6 \times 10^{-6}$$
$$= 279.75207 \times 10^{-6} - 0.6 \times 10^{-6}$$

また、実際の観測時の大気の屈折率nにおけるΔ nは、

$$(n-1) = \Delta n = \frac{n_g - 1}{1+\alpha t}\frac{P}{760} - 0.6 \times 10^{-6}$$
$$= \frac{2951.1467 \times 10^{-7}}{1 + 0.003661t}\frac{P}{760} - 0.6 \times 10^{-6}$$
$$= \frac{2951.1467 \times 10^{-7}P}{760 + 2.78236t} - 0.6 \times 10^{-6}$$
$$= \frac{106.06631 \times 10^{-6}P}{273.14941 + t} - 0.6 \times 10^{-6}$$

したがって、Δ s-Δ nは

$$\Delta s - \Delta n = \left(279.75207 - \frac{106.06631 \times 10^{-6}P}{273.14941 + t}\right) \times 10^{-6}$$

…(36)

そこで、$k = \Delta s - \Delta n$とおいて、kを気象補正定数と呼ぶことにすると、正しい距離 D は(34)より

$$D = D_s + D_s(\Delta s - \Delta n) = (1+k)D_s$$
$$= D_s\{1 + \left(279.75207 - \frac{106.06631P}{273.14941 + t}\right) \times 10^{-6}\}$$

…(37)

したがって、たとえば気象補正しない時の測定距離 Ds=1500m、観測時の気温及び気圧をそれぞれ、+20℃及び745mmHgとすると、気象補正後の正しい距離 D は

$$D = 1500D_s\{1 + \left(279.75207 - \frac{106.06631 \times 745}{273.14941 + 20}\right)$$
$$\times 10^{-6}\} = 1500.015m$$

光波測距儀⑭

気温t、気圧 P と測定長 Ds の関係

実際の観測時の大気の屈折率

$$n = k\left(\frac{P}{t}\right)$$

正しい距離 D、測定距離 Ds と屈折率の関係(31)

$$\frac{D}{D_s} = \frac{n_s}{n}$$

温度tと測定長 Ds

t	n	Ds
低くなる	大きくなる	長くなる

高くなる	小さくなる	短くなる

気圧 P と測定長 Ds

P	n	Ds
高くなる	大きくなる	長くなる
低くなる	小さくなる	短くなる

光波測距儀⑮

○測定距離

$$\mathbf{D = D_o + ds + K + M}$$

D_o:測定値
ds:気象補正値
K:器械定数
M:反射鏡定数

光波測距儀⑯

○屈折率測定距離

$$\mathbf{D = D_s \cdot \frac{n_s}{n} = D_s + D_s(n_s - n)}$$

Ds:未気象補正の距離
n_s:標準屈折率
n:観測時の屈折率

光波測距儀⑰

○距離測定三点法

$$D_3 + K = D_1 + D_2 + 2K$$

K:器械定数＋反射鏡定数

光波測距儀⑱

○変調周波数の影響

$$\mathbf{dD = -D\frac{f_o - f}{f_o}}$$

f:測定時の周波数
f_o:器械の基準周波数
→f が f_oより低いときは f_o−f>0,dD<0 となって測定長は短くなる。

光波測距儀⑲

○距離に比例する誤差
①気象測定による誤差
②周波数変動による誤差
○距離に関係しない誤差
①位相差分解能
②器械定数誤差
③器械本体，反射鏡の致心誤差
④反射鏡の定数
⑤反射鏡致心誤差

光波測距儀の精度
原理式

$$D = \frac{\lambda}{2}N + \frac{\lambda}{2}\frac{\varphi}{2\pi} + K$$

…(1)
ただし、λ:変調波の波長
N:正の整数
φ:測定位相差
K:器械定数
真空中の光の速さを C、大気の屈折率をn、変調波の周波数をf とすると

$$\lambda f = \frac{C}{n}$$

…(2)
この関係式を用いると(1)は

$$D = \frac{C}{2nf}\left(N + \frac{\varphi}{2\pi}\right) + K$$

…(3)
測定距離 D の精度を考えると、N は波長の異なる数種類の変調波を使って求められるので、N には誤差はない。したがって、D の精度は n,f,C, φ ,K に関係がある。誤差伝播式から

$$\sigma_D^2 = \left(\frac{\partial D}{\partial n}\right)^2\sigma_n^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial f}\right)^2\sigma_f^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial C}\right)^2\sigma_C^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial \varphi}\right)^2\sigma_\varphi^2 + \left(\frac{\partial D}{\partial K}\right)^2\sigma_K^2$$

$$\sigma_D^2 = \left(\frac{\lambda}{2}\frac{\sigma_\varphi}{2\pi}\right)^2 + \sigma_K^2 + \left\{\left(\frac{\sigma_n}{n}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_C}{C}\right)^2\right\}D^2$$

…(4)
となり、測定距離 D に関係しない誤差と、D に比例する誤差から構成される。
σ_C は真空中の光の速さの誤差であるが、これは国際的に決定されている光の値を使用すれば考慮する必要がない。したがって、(4)では、φ ,K,n,fの誤差に関係する。

$\frac{\lambda}{2}\frac{\sigma_\varphi}{2\pi}$は測定位相差の誤差に関係し、これは測距儀自体の位相差測定に関係する。これは送光部分から受光部への光学的−電気的な信号の漏れによる誤差も含まれる。この漏洩信号による誤差は、1 波長間の距離で正弦波的に現れ、波長ごとに繰り返す性質がある。
σ_Kは器械定数の誤差であるが、これには光波自体の器械誤差のほか、測距儀及び反射鏡後新誤差も含まれる。
σ_n/nは大気の屈折率に関する誤差である。実際の距離測定時の大気の屈折率と測距儀に設定されている標準屈折率との

差による影響は気象補正によって補正されるが、気象要素の測定に誤差があれば、それが大気の屈折率誤差として現れる。さらに、往復光路内での気象要素の変動もこの誤差に含まれる。
σ_f/fは、変調波周波数の誤差に関係する項で、測距儀内部の基準発振器の安定度が問題であり、発振周波数が微小変動するような場合に誤差になる。
D=1km

$$\frac{\lambda}{2}\frac{\sigma_\varphi}{2\pi} = 5\text{mm}$$

σ_K=3mm
$\sigma_n/n=3\times10^{-6}$
$\sigma_f/f=3\times10^{-6}$
$\sigma_C=0$
これらを(4)に代入すると

$$\sigma_D^2 = (5\times10^{-3})^2 + (3\times10^{-3})^2 + [(3\times10^{-6})^2 + (3\times10^{-6})^2]\times(1\times10^3)^2$$
$$= 6.08\times10^{-6}$$
$$\sigma_D = 2.4\text{mm}$$

しかし、一般的に光波測距儀での観測誤差は

$$\sigma_D = a + D\text{ppm}$$

という形で表される。
ジオジメータ 6BL(スウェーデン)1973 年:

$$\sigma_D = 5\text{mm} + 1\text{ppm}$$

ジオジメータ 8 型:

$$\sigma_D = 6\text{mm} + 1\text{ppm}$$

HP3800B(米国)1970 年ごろ:

$$\sigma_D = 5\text{mm} + 7\text{ppm}$$

メコメータME3000(スイス:ケルン社):

$$\sigma_D = 0.2\text{mm} + 0.5\text{ppm}$$

メコメータME5000(スイス:ケルン社)1987 年:

$$\sigma_D = 0.2\text{mm} + 0.2\text{ppm}$$

(トータルステーション)

トータルステーション①

○利点
角度と距離の測定が同時に可能
観測データは自動記録され、手簿記入が省略できる
(入力は器械高とミラー高のみ)
転記ミスがなく，観測時間が短縮
観測データの点検が自動で行える
三次元座標が求まる
一連の自動処理が可能である

トータルステーション②

○短所
重量が重く，価格が高い
取扱が難しい
常識を越えたミスの発見が難しい
人意的なデータ操作ができない

トータルステーション③

○発展
角度と距離の同時測定から画的データが作成され，道路設計システム，土木施工管理等に利用できる
GNSS(GPS)と組合せた測量システム;
構造物を定期的に自動測定し，歪み等の管理ができる

トータルステーション④

○取扱上の注意点
取扱説明書を熟読し，正しい操作
斜距離と水平距離の間違，測点番号，器械高，気象データ，反射鏡定数の手入力ミスを防止する
器械重量が大きいことから，三脚のねじれ，器械沈下のための脚杭，踏み板の設置等を検討する
バッテリー残量に注意し，予備電源を用意する
データコレクタは，フロッピーディスクの湿気や衝撃に弱いため，取扱には十分注意する
収集観測データは，速やかに，コピー，パソコン等へ転送記憶する
モニター，データコレクタに異常が発見された時は，作業を中止し，異常原因と影響範囲を調査する

(鋼巻尺)スチールテープ

鋼巻尺①

○鋼巻尺の検定
50m 比較基線場で5回測定を1セッ　トとして、2セットの検定を行う
開始、終了時に気温を測定する
張力:10kg
最大最少差:2mm 以内
平均値較差:1.5mm 以内

〔No.6〕基準点測量

基準点測量①

○基準点測量:
既知点の基準点に基づき，測角測距を行い新点基準点の水平位置，標高を定める作業をいう。

基準点測量②

準則 22 条
基準点測量
1 級　2 級　3 級　4 級
既知点　電子　電子　電子　電子
　　1～4 等　1～4 等　1～4 等　1～4 等
　　1 級　　1～2 級　1～2 級　1～3 級
既知点間 4km　2km　1.5km　0.5km
新点間　1km　0.5km　200m　50m

基準点測量③

第 23 条基準点測量の方式
2)結合多角方式

	項目	基準点測量			
		1 級	2 級	3 級	4 級
結合多角方式	1 個の多角網における既知点数	2+新点数/5 以上(端数切り上げ)		3 点以上	
	単位多角形の辺数	10 辺以下	12 辺以下	－	－
	路線の辺数	5 辺以下	6 辺以下	7 辺以下	10 辺以下
		伐採樹木及び地形の状況等によっては、計画機関の承認を得て、辺数を増やすことができる。			
	節点間の距離	250m	150m 以上	70 m 以上	20 m 以上
	路線長	3 k m 以下	2 k m 以下	1 k m 以下	500 m 以下
		GNSS 測量機を使用する場合≦5km			
		ただし電子基準点のみを使用する場合はこの限りでない。	－		
	偏心距離の制限	S/e≦6、S:測点間距離、e:偏心距離			
	路線図形	多角網の外周路線に属する新点は、外周路線に属する隣接既知点を結ぶ直線から外側 40° 以下の地域内に選点し、路線中の夾角は 60° 、ただしやむを得ない場合はこの限りでない。		同左 50° 以下同左 50° 以下	
	平均次数	－	－	簡易水平網平均計算を行う場合は平均次数を２次までとする。	

(観測機器)準則 35 条
機器　適用
1 級 TS　1～4 級基準点測量
2 級 TS　2～4 級
3 級 TS　4 級基準点測量

1 級 GNSS 1～4 級基準点測量
2 級 GNSS 1～4 級基準点測量
1 級ｾｵﾄﾞﾗｲﾄ 1～4 級基準点測量
2 級ｾｵﾄﾞﾗｲﾄ 2～4 級基準点測量
3 級ｾｵﾄﾞﾗｲﾄ 4 級基準点測量
測距儀 1～4 級
3 級レベル 測標水準
2 級標尺 測標水準
鋼巻尺 JIS1 級

基準点測量④

①結合多角方式
既知点に結合する多角網を形成し行う多角測量方式
②閉合多角方式
既知点を3点以上使用
既知点、新点を結合する多角路線が閉じた多角形を形成
各多角形が1個以上の多角形に多角路線を共有して接する多角網を形成する多角測量方式
③単路線方式
既知点2点を単一多角路線で結合する多角測量方式
④三角方式
既知点を3点以上使用し，三角網を形成して行う三角測量方式

基準点測量⑤

○級別多角測量方式
1級，2級基準点測量:結合多角方式
3級，4級基準点測量:結合多角方式 または
単路線方式
・閉合多角方式:特に高精度を計画機関が指示する場合

基準点測量⑥

○点数、取付辺数
1級基準点測量の結合閉合方式
()内は2級の数値を示す
1多角網の既知点数:2＋新点数／5以上
単位多角形の辺数: 10(12)辺以下
路線辺数:5(6)辺以下
節点間の距離:250m(150)以上
路線長:3km(2)以下GPSによる場合は 5km)
偏心距離制限:S/e>6
路線夾角:60 °以上
外周路線の新点位置:
外周既知点の直線外側 40 °以下

基準点測量⑦

順序
(1)作業計画
(2)選点
(3)測量標の設置
(4)観測
(5)計算
(6)品質評価
(7)成果品の整理

基準点測量⑧

(1)作業計画
地形図上で新点の概略位置を決定、平均計画図を作成
作業機関は作業方法，使用機器，要員，日程について適切な作業計画書を作成し測量計画機関の承認を得る

基準点測量⑨

(2)選点
平均計画図に基づき，現地で既知点の現況調査を行い新点位置選定
新点の位置を決定
選点図と平均図を作成する

基準点測量⑩

○平均計画図
地形図等(主に空中写真)を用い机上計画を作成
既知点と新点の予定位置をプロット
新点条件，配点密度を考慮する

○選点図
新点の位置を選定したときには、その位置、視通線等を地形図に記入

○平均図
選点図に基づいて作成
計画機関の承認

○観測平均図
計画機関で承認を得た平均図に基づき作成す る

基準点測量⑪

○選点の留意点
既知点の数を多くし均等に配置する
交点の数を多くし各路線が強く結ば　　れていること
路線は短く，節点の数を少なくする
路線長を均一にする
短い折線は避ける

○新点の選定条件
視通が良好
地盤の安定
後続作業の利用
標石の保全等を考慮
最も適切な位置に選定

道路の変更改良，新設計画等を関係官公署に照会し作業
後移転のない位置に
交通量の多い道路上は避ける
交差点付近は将来の利用面で良い

泥湿地，軟弱地盤河岸，堤防，盛土等の局部的に地盤沈下が予想される場所は避ける
発見の容易な場所
埋設，観測作業の容易な場所

基準点測量⑫

○埋石
土地所有者，管理者より建標承諾書をとる
掘削は最小限にとどめる
埋戻は避ける
盛土軟弱地盤では沈下を防ぐため，基礎を堅固にする
通行妨害，埋設物の損傷に注意する
標石は水準点の記入面を道路側に向ける
金属標は文字が道路に正対する向きとし，上面を水平にする

基準点測量⑬

○既知点の調査
柱石上面の水平や異状の有無を確認する
柱石の亡失，傾斜，過度の露出，破損状況を確認する
異状点は基準点現況調査報告書を作成し計画機関に提出する

基準点測量⑭

(3)測量標設置
新点の位置に永久標識を設ける作業
新点には永久標識を設置し、測量標設置位置通知書を作成
永久標識の規格、設置方法は別に定める
設置した永久標識は写真等で記録
設置した永久標識には固有番号を記録した IC タグを取り付けることができる
3 級･4 級基準点には標杭を用いることができる
点の記の作成

基準点測量⑮

○測標水準測量
　直接水準測量:4級水準測量に準じる
　間接水準測量:区間の一端に固定点を2点設け鉛直角，距離を測定
1級基準点測量:距離 500m 以上
2級基準点測量:距離 500m まで
環閉合差:3cm x S　(1km 未満は 3cm)
鉛直角:3 対回
距離測定:2km まで

基準点測量⑯

(4)観測
平均図に基づき、トータルステーション，トセオドライト、測距儀(TS というを用い，関係点間の水平角，鉛直角，距離を測定する作業
GNSS 測量機を用いて、GNSS 衛星からの電波を受信し、位相データを記録する作業(GNSS 観測)
観測は、TS 及び GNSS 測量機を併用できる
観測に当たっては、必要に応じ、測標水準測量を行う

基準点測量⑰

区分 / 項目		基準点測量				
		1 級	2 級		3 級	4 級
			1 級 TS，セオドライト	2 級 TS、セオドライト		
水平角	読定単位	1″	1″	10″	10″	20″
	対回数	2	2	3	2	2

観測	水平目盛	0°、90°	0°、90°	0、60、120°	0、90°	0、90°
	位置					
鉛直角	読定単位	1″	1″	10″	10″	20″
	対回数	1	1	1	1	1
距離	読定単位	1mm	1mm	1mm	1 mm	1mm
	セット数	2	2	2	2	2

観測値の点検

区分 / 項目		基準点測量 1 級	2 級 1 級 TS, セオドライト	2 級 2 級 TS、セオドライト	3 級	4 級
水平角観測	倍較差	15″	20″	30″	30″	60″
	観測差	8”	10″	20″	20″	40″
鉛直角	高度定数の較差	10″	15″	30″	30″	60″
距離	1 セット内の測定値の較差	20 mm	20mm	20mm	20mm	20mm
	各セットの平均値の較差	20 mm	20mm	20mm	20mm	20mm
測標水準	往復観測値の較差	20 mm√S	20mm √S	20mm √S	20mm √S	20mm √S

基準点測量⑱

○GNSS 測量機の場合

観測方法	観測時間	データ取得観測	基準点測量
スタティック法	120 分以上	30 秒以下	1 級(10km以上 ※1)
	60 分以上	30 秒以下	1 級(10km未満) 2～4 級
短縮スタティック法	20 分以上	15 秒以下	3～4 級
キネマティック法	10 秒以上 ※2	5 秒以下	3～4 級
RTK 法	10 秒以上 ※3	1 秒	3～4 級
ネットワーク型 RTK 法	10 秒以上 ※3	1 秒	3～4 級

備考	※1 観測距離が 10km以上の場合は、1 級 GNSS 測量機により 2 周波により観測をおこなう。ただし、接点を設けて観測距離を 10km未満のすることで、2 級 GNSS 測量機により観測を行うこともできる。
	※2 10 エポック以上のデータが取得できる時間とする。
	※3 FIX 解を得てから 10 エポック以上のデータが所得できる時間とする。

○使用衛星数

観測方法 / GNSS 衛星の組み合わせ		スタティック法	短縮スタティック
			キネマティック
			RTK
			ネットワーク型 RTK
GPS 衛星のみ		4 衛星以上	5 衛星以上
GPS 衛星・GLONASS		5 衛星以上	6 衛星以上
摘要	①GLONASS を用いて観測の場合、GPS・GLONASS をそれぞれ2衛星使用する。		
	②GLONASS の場合、同一メーカーの GNSS を使用		
	③スタティック法による 10km以上の観測では、GPS のみの場合は5衛星以上、GPS と GLONASS の場合6衛星以上とする。		

アンテナ高:mm位
標高の取り付けの際、500m以下の距離の場合、楕円体高の差を高低差とする
GNSS の作動状態、飛来情報を考慮し,片寄った配置は避ける。
GNSS の最低高度角は 15°

基準点測量⑲

○測標水準
直接水準は 4 級水準測量に準じる
間接水準
器械高、反射高、目標高はmmまで測定、
間接水準の区間の一端に 2 つの固定点を設け、鉛直角と距離測定を行う、
環の閉合差<3cmD(距離 km 単位)、1km 未満の場合は 3cm とする
鉛直角、距離測定は、距離 500m以上のとき 1 級基準点測量、距離 500m未満のとき 2 級基準点測量に準じる。ただし、鉛直角測定は 3 対回、できるだけ正方向・反方向の同時観測を行う。

基準点測量⑳

○偏心の許容値
対回数:3対回
倍角差:45″
観測差:30″
三角形の閉合差:30″

基準点測量㉑

○点検路線
路線長が短いこと
既知点と既知点を結合すること
全既知点が少なくとも1つの点検路線で結合されていること
全単位多角形は少なくとも路線の1つが点検路線と重複すること

基準点測量㉒

(5)計算
計算は新点の水平位置、標高を求める
1)TS 等による基準面上の距離計算は楕円体高を用いる。
楕円体高＝標高+ジオイド高
2)ジオイド高
国土地理院の提供するジオイドモデルによる
上のモデルのない地域は、GNSS 観測と水準測量で求めたジオイドモデルによる
3)3 級・4 級基準点測量では、距離計算は標高上で行える。この場合、経緯度計算を省略できる。

○計算の方法
1)指定の計算方法による
2)計算結果の表示単位
直角座標:0.001m
経緯度:0.0001 秒
標高:0.001m
ジオイド高:0.001m
角度:1 秒
辺長:0.001m

3)TS の場合、標高計算は 0.01mとできる
4)GNSS の場合
基線ベクトル成分:0.001m
GNSS の軌道情報:放送暦
スタティック、短縮スタティックの基線解析:PCV(phaise center variation)補正を行う
気象要素の補正:基線解析ソフトで採用するもの
スタティックの基線解析:10km未満のとき 1 周波、10km以上では 2 周波とする
基線解析の固定点の経度緯度:固定点とする既知点の経度緯度を入力し、楕円体高はその点の標高とジオイド高から求めた値を入力する。以後の基線解析では、これによって求めた値を順次入力する。
基線解析に使用する高度角:観測時に GNSS 測量機に設定した受信高度角とする。

基準点測量㉓

○結合多角

	1 級	2 級
水平位置の閉合差	100mm+20mm√ΣS	100mm+30mm√ΣS
標高の閉合差	200mm+50mmΣS/√N	200mm+100mmΣS/√N
比高の正反較差	300mm	200mm

	3 級	4 級
水平位置の閉合差	150mm+50mm√ΣS	150mm+100mm√ΣS
標高の閉合差	200mm+150mmΣS/√N	200mm+300mmΣS/√N
比高の正反較差	150mm	100mm

n:測角数
N:辺長
ΣS:路線長(km)

基準点測量㉔

○閉合多角

	1 級	2 級
水平位置の閉合差	10mm√ΣS	15mm√ΣS
標高の閉合差	50mmΣS/√N	100mmΣS/√N
比高の正反較差	300mm	200mm

	3 級	4 級
水平位置の閉合差	25mm√ΣS	50mm√ΣS
標高の閉合差	150mmΣS/√N	300mmΣS/√N
比高の正反較差	150mm	100mm

n:測角数
N:辺長
ΣS:路線長(km)

基準点測量㉕

○GNSS 観測の較差の許容値

区分		許容範囲
基線ベクトルの環閉合差	水平(ΔN、ΔE)	200mm√N
	高さ(ΔU)	30mm√N
重複する基線ベクトルの較差	水平(ΔN、ΔE)	20mm
	高さ(ΔU)	30mm

N:辺数
ΔN:水平面の南北の閉合差又は較差
ΔE:水平面の東西の閉合差又は較差
ΔU:高さ方向の閉合差又は較差

○電子基準点のみの場合の許容範囲

区分		許容範囲
結合多角又は単路線	水平(ΔN、ΔE)	60mm+20mm√N
	高さ(ΔU)	150mm+30mm√N

基準点測量㉖

(6)平均計算
既知点 1 点を固定する GNSS による場合の仮定三次元網の平均計算
1)その重量(P)は次の分散・共分散行列の逆行列による
イ基線解析による分散・共分散の値
ただし、すべての基線の解析手法、解析時間が同じ場合に限る
ロ水平・高さの分散の固定値
$d_N=(0.004m)^2, d_E=(0.004m)^2, d_U=(0.007m)^2$
仮定三次元網平均計算の許容範囲

(基線ベクトルの各成分の残差)
1 級～4 級基準点測量:20mm

(水平位置の閉合差)
Δs=100mm+40mm√N
Δs:既知点の成果値と仮定三次元平均計算から求めた距離
N:既知点までの最小辺数(辺数が同じ場合、路線長の最短のもの)
(標高の閉合差)
250mm+45mm√N
N:辺数

○方位角、斜め距離、楕円体比高による場合の許容誤差

	基準点測量			
項目	1級	2級	3級	4級
方位角残差	5秒	10秒	20秒	80秒
斜め距離残差	20mm+4×10⁻⁶D			
楕円体比高残差	30mm+4×10⁻⁶D			
水平位置閉合差	Δs=100m+40mm√N			
	Δs:既知点の成果値と仮定三次元網平均計算から求めた距離			
	N:既知点までの最小辺数(辺数が同じ場合は路線長の最短のもの)			
標高の閉合差	250mm+45mm√N			
	N:辺数			

基準点測量㉗

○平均計算
TS 観測の平均計算
イ厳密水平網平均計算の重量(P)

	重量	m_s	γ	m_t
基準点測量	1 級	10mm	5×10^{-6}	1.8”
	2 級			3.5”
	3 級			4.5”
	4 級			13.5”

ロ 厳密水平網平均計算の重量(P)はイを用い、簡易水平網平均計算及び簡易高低網平均計算を行う場合、方向角については各路線の観測点数の逆数、水平位置及び標高に

ついては、各路線の距離の総和(0.01km 位までとする。)の逆数を重量(P)とする。

ハ 厳密水平網平均計算及び厳密高低網平均計算による各項目の許容範囲は、次表を標準とする。

	基準点測量			
	1 級	2 級	3 級	4 級
一方向の残差	12”	15”	-	-
距離の残差	80 mm	100 mm	—	-
単位重量のsd	10”	12”	15”	20”
新点位置のsd	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm
高低角の残差	15”	20”	-	-
高低角のsd	12”	15”	20″	30”
新点標高のsd	200 mm	200 mm	200 mm	200 mm

ニ 簡易水平網平均計算及び簡易高低網平均計算による各項目の許容範囲は、次表を標準とする。

	基準点測量	
	3 級	4 級
路線方向角残差	50”	120”
路線座標差残差	300mm	300mm
路線高低差残差	300mm	300mm

基準点測量㉘

○GNSS 観測
イ 新点の標高決定
(1) 国土地理院が提供するジオイドモデルによりジオイド高を補正する方法
(2)(1)のジオイドモデルが構築されていない地域においては、GNSS観測と水準測量等により、局所ジオイドモデルを求めジオイド高を補正する方法
ロ 三次元網平均計算の重量(P)は、前項第一号の規定を準用する。
ハ 1級基準点測量において、電子基準点のみを既知点とする場合は、国土地理院が提供する地殻変動補正パラメータを使用しセミ・ダイナミック補正を行うものとする。なお、地殻変動補正パラメータは、測量の実施時期に対応したものを使用するものとする。

ニ 三次元網平均計算による各項目の許容範囲は、次表を標準とする。

	基準点測量			
項目	1 級	2 級	3 級	4 級
斜め距離の残差	80mm	100mm	—	—
新点水平位置のsd	100mm	100mm	100mm	100mm
新点標高のsd	200mm	200mm	200mm	200mm

基準点測量㉙

(6)品質評価
第 44 条「品質評価」とは、基準点測量成果について、製品仕様書が規定するデータ品質を満足しているか評価する作業をいう。
2 評価の結果、品質要求を満足していない 項目が発見された場合は、必要な調整を行うものとする。
3 作業機関は、品質評価手順に基づき品質評価を実施するものとする。

基準点測量㉚

(7)成果の整理
(メタデータの作成)
第45条 基準点成果のメタデータは、製品仕様書に従いファイルの管理及び利用において必要となる事項について、作成するものとする。

基準点測量㉛

○成果
①観測手簿
②観測記簿
③計算簿
④平均図
⑤成果表
⑥点の記
⑦建標承諾書
⑧測量標設置位置通知書
⑨基準点網図
⑩品質評価表及び精度管理表
⑪測量標の地上写真
⑫基準点現況調査報告書
⑬成果数値データ

⑭点検測量簿
⑮メタデータ
⑯その他の資料

測量士

〔No.7〕GNSS 測量

GNSS①

○汎地球測位システム GPS
GPS(Global Positioning System)は、商品名なので、GNSS(Global Navigation Satelite System)に変更されました。

GNSS は、宇宙空間に配置された GPS 衛星から送られる電波を地上のアンテナで受信し、アンテナ位置を求める測位方式です。

測量の他にカーナビやハンディ GPS 等に使用されます。

GNSS②

高度 2 万kmの 6 個の軌道を描く計 24 個(1 軌道に 4 基)の GPS 衛星が配置されています。
GPS は米国、Glonass はロシア、Galileo は欧州のものです。
中国は北斗(COMPASS)を開発中。
日本は 2010 年に準天頂衛星(GZSS)みちびきを打ち上げた。
2017～19 年までに 3 基が打ち上げられる予定。

GNSS③

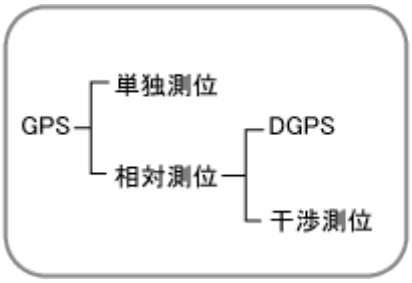
GPS 衛星からの電波
GPS 衛星からは、L1 帯(1575.42MHz)、L2 帯(1227.6MHz)のマイクロ波が送信されます。この電波には、衛星の位置情報、C/A コード、P コードの情報が送られ、搬送波と呼ばれます。

GNSS④

計測原理
GPS 衛星による計測は、空間三角測量により行います。各衛星のその時々の位置は搬送波に記述されているので分かっています。GPS 衛星と地上の受信機には正確な時計が搭載されているので、衛星から受信機に至る時間が分かり、時間 Δt×電波速度(光速度)により、衛星と受信機との距離がわかります。
したがって、受信機の座標(X,Y,Z)は 3 個の衛星から電波を受信すると求められます。
しかし、実際には時計には誤差があるので未知数は(X,Y,Z,t)の 4 個となり、4 個の衛星電波が必要になります。

GNSS⑤

GPS 計測の種類

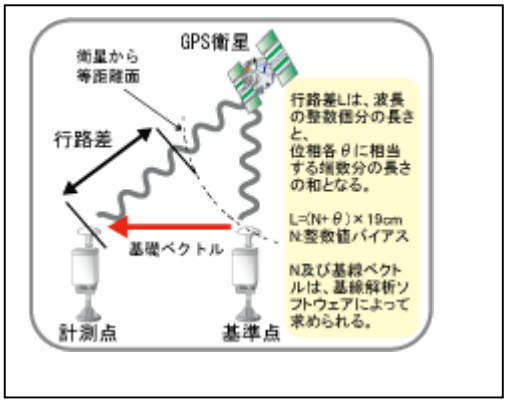


GNSS⑥

単独測位
単独測位は、1 つの受信機で同時に 4 個以上のGPS衛星からの電波を受信し、各衛星からの距離を算出して測位する方法です。距離の算出にはGPS衛星から送信される搬送波に乗ったC/AコードやPコードを利用します。測位精度は概ね数 10m程度です。

相対測位
複数の受信機で 4 個以上の GPS 衛星を同時に観測して受信機間の相対的な位置関係を計測する方法で、単独測位より高精度です。

干渉測位
2つの受信機からある衛星までの距離の差(行路差)を搬送波の位相を使って求め、基線ベクトルを決定する計測方法です。したがって、受信機ではそれぞれの搬送波の位相角を測定することになります。干渉測位は、GPS測位の中で最も精度の良い方法で、mm 単位の計測も可能です。



スタティック測位
静的干渉測位ともいいます。干渉測位では、搬送波波長の整数個N(整数値バイアス)を決定する必要があります。
スタティック測位では、複数の受信機で 4 個以上の衛星を長時間観測し、衛星の時間的位置変化を利用して整数値バイアスを決定します。したがって、計測には概ね 1 時間以上の観測時間を要しますが、精度は最も良い計測手法です。

RTK 法
短時間で計測可能な干渉測位の1手法です。 干渉測位では、搬送波波長の整数個N(整数値バイアス)を決定する必

要があります。RTK 法では観測開始時に整数値バイアスを決定し(初期化)、以後は受信機間で無線や携帯電話などを利用して観測データの交信を行い、即時に解析処理を行います。そのため、RTK 法では数秒に一度の測位が可能ですが、精度はスタティック測位より劣り、概ね cm オーダーの精度となります。

GNSS⑦

準則第21条
○GNSS とは、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称で、GPS、GLONASS、Galileo 及び準天頂衛星等の衛星測位システムがある。

○GNSS 測量では、GPS 及び GLONASS を適用する。

準則第 22 条
1級　電子基準点、1～4等三角点、1級基準点、
既知点間 4km、新点間 1km
2級　1～4 等三角点、1級～2級、2km、
500m
3級　1～4 等三角点、1級～3級、1.5km、
200m
4級　1～4 等三角点、1級～3級、500m、
50m

○1級基準点の場合、2既知点のみで、距離に関係なく行える。

準則第37条
GNSS観測は、干渉測位方式で行う。
1)スタティック法
観測時間 120 分以上、データ取得間隔 30 秒以下、1級基準点(10km以上)
スタティック法
観測時間 60 分以上、データ取得 30 秒以下、1 級基準点(10 km未満)、2～4 級基準点
2)短縮スタティック法
観測時間 20 分以上、データ取得 15 秒以下、3～4 級基準点
3)キネマティック法
観測時間 10 秒以上、データ取得 5 秒以下、3～4 級基準点
4)RTK法
観測時間 10 秒以上、データ取得 1 秒、3～4 級基準点
5)ネットワーク型RTK法
観測時間 10 秒以上、データ取得 1 秒、3～4 級基準点
(観測衛星数)
1)GPS衛星のみ
スタティック法:4 衛星以上
スタティック法以外:5 衛星以上
2)GPSとGLONASS
スタティック法:5 衛星以上
スタティック法以外:6 衛星以上

(1)スタティック法は、複数の観測点にGNSS測量機を整置して、同時にGNSS衛星からの信号を受信し、それに基づく基線解析により、観測点間の基線ベクトルを求める観測方法であ
る。
(2)短縮スタティック法は、複数の観測点にGNSS測量機を整置し、GNSS衛星からの信号を受信し、観測時間を短縮するため、基線解析において衛星の組合せを多数作るなどの処理を行い、観測点間の基線ベクトルを求める観測方法である。
(3)観測図の作成は、同時に複数のGNSS測量機を用いて行う観測(「セッション」)計画を記入するものとする。
(4)電子基準点のみを既知点として使用する以外の観測は、既知点及び新点を結合する多角路線が閉じた多角形を形成させ、次のいずれかにより行うものとする。
(i) 異なるセッションの組み合わせによる点検のための多角形を形成する。
(ⅱ)異なるセッションによる点検のため、1辺以上の重複観測を行う。
(5) スタティック法及び短縮スタティック法におけるアンテナ高の測定は、GNSSアンテナ底面までとする。なお、アンテナ高は標識上面からGNSSアンテナ底面までの距離を垂直に
測定することを標準とする。

GNSS⑧

1)キネマティック法は、基準となるGNSS測量機を整置する観測点(「固定局」)及び移動する観測点(「移動局」)で、同時にGNSS衛星からの信号を受信して初期化(整数値バイアスの決定)などに必要な観測を行う。その後、移動局を複数の観測点に次々と移動して観測を行い、それに基づき固定局と移動局の間の基線ベクトルを求める観測方法である。なお、初期化及び基線解析は、観測終了後に行う。
2)RTK法は、固定局及び移動局で同時にGNSS衛星からの信号を受信し、固定局で取得した信号を、無線装置等を用いて移動局に転送し、移動局側において即時に基線解析を行うことで、固定局と移動局の間の基線ベクトルを求める。その後、移動局を複数の観測点に次々と移動して、固定局と移動局の間の基線ベクトルを即時に求める観測方法である。なお、基線ベクトルを求める方法は、直接観測法又は間接観測法による。
(1) 直接観測法は、固定局及び移動局で同時にGNSS衛星からの信号を受信し、基線解析により固定局と移動局の間

の基線ベクトルを求める観測方法である。直接観測法による観測距離は、500m 以内を標準とする。
(2) 間接観測法は、固定局及び2か所以上の移動局で同時にGNSS衛星からの信号を受信し、基線解析により得られた2つの基線ベクトルの差を用いて移動局間の基線ベクトルを求める観測方法である。間接観測法による固定局と移動局の間の距離は 10km 以内とし、間接的に求める移動局間の距離は 500m 以内を標準とする。

3)ネットワーク型RTK法は、配信事業者で算出された補正データ等又は面補正パラメータを、携帯電話等の通信回線を介して移動局で受信すると同時に、移動局でGNSS衛星からの信号を受信し、移動局側において即時に解析処理を行って位置を求める。その後、複数の観測点に次々と移動して移動局の位置を即時に求める観測方法である。配信事業者からの補正データ等又は面補正パラメータを通信状況により取得できない場合は、観測終了後に解析処理を行うことができる。なお、基線ベクトルを求める方法は、直接観測法又は間接観測法による。
(1) 直接観測法は、配信事業者で算出された移動局近傍の任意地点の補正データ等と移動局の観測データを用いて、基線解析により基線ベクトルを求める観測方法である。
(2) 間接観測法は、次の方式により基線ベクトルを求める観測方法である。
(i) 2台同時観測方式による間接観測法は、2か所の移動局で同時観測を行い、得られた
それぞれの三次元直交座標の差から移動局間の基線ベクトルを求める。
(ii) 1台準同時観測方式による間接観測法は、移動局で得られた三次元直交座標とその後、速やかに移動局を他の観測点に移動して観測を行い、得られたそれぞれの三次元直交座標の差から移動局間の基線ベクトルを求める。なお、観測は、速やかに行うとともに、
必ず往復観測(同方向の観測も可)を行い、重複による基線ベクトルの点検を実施する。
(3) 3級～4級基準点測量は、直接観測法又は間接観測法により行うものとする。

GNSS⑨

○ジオイド補正:H=h-N
GNSS 観測からは WGS-84 系に準拠する楕円体高 h が求まる
ジオイド高 N を補正し楕円体高から標高 H を求める
日本測地系

GNSS⑩

○座標変換
WGS-84 系への変換パラメータ
基準点座標 92, パラメータマップ
座標変換プログラム:TKY2WGS

GNSS⑪

○伝搬誤差
電離層の影響:
周波数の2乗に比例
2周波(L1.L2)観測で補正
対流圏伝搬遅延誤差:標準大気モデル(気温, 気圧、湿度)で補正
整数値バイアス:多重解からの基線解観測時間を確保する
アンテナ高計測誤差:同機種のアンテナを同方向に立てる
(PCV 補正で他機種も使える)
時計誤差:二重位相差を計算する
軌道情報誤差:精密軌道暦を用いる
サイクルスリップ

○ノイズ
1)上空視界
2)基線長が長くなる
3)マルチパス(多重反射)
4)超高圧送電線、雷、船舶無線の飛び交う場所
5)アンテナケーブルのくびれ・くぼみ

GNSS⑫

○基線ベクトル
観測データを解析し衛星からの距離差(行路差)より求める
・0.001m までは

$$S^2 = (X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2$$

GNSS⑬

○観測(干渉測位方式)
観測図:セッション(同時に複数の GNSS を用いて行う観測)計画を記入
既知点と新点を結合する閉多角形を形成する
異なるセッションの組合せ点検のための多角を形成
異なるセッションの組合せ点検のための1辺以上の重複観測
標高取付:楕円体高差＝高低差
(距離 500m まで)

GNSS⑭

①スタティック法(静的)
精度:数百 km で数 cm
測量点にアンテナと受信機を設置し，全点同時に GNSS 電波を受信記録する
②短縮スタティック法
③キネマテック法(動的)
　既知点に1台の受信機を固定し，もう1台の受信機を複数の未知点を順次移動し観測する

GNSS⑮

○受信高度角:15 度を標準
　上空視界が確保できない場合は，
　　30 度まで緩和してよい

GNSS⑯

○検定
国土地理院の GNSS 比較基線場において観測値と基線長の差が許容範囲内かを点検
GNSS 比較基線場の使用が困難な場合は，1km 以上離れた 2 点以上の任意の点を設け検定された光波等により測定し，基線長とする
GNSS 観測し基線長との差が許容範囲内かを点検

GNSS⑰

○観測値の点検

基線ベクトルの環閉合差:25mm$\sqrt{N}$異なるセッション多角形の，基線ベクトル各成分の環閉合差を計算する
重複する基線ベクトルの較差:25mm
　重複する基線ベクトルの各成分を比較点検する

GNSS⑱

○偏心要素
偏心距離:斜距離
偏心角:方位角，高低角，高低差
トータルステーション等は
偏心距離:基準面上の距離
偏心角:零方向と本点間の夾角

GNSS⑲

○利点
長距離で高精度な測量が可能
観測点間の視通がなくてもよい
三次元的な相対位置が求まる
天候障害が少ない
全地球的範囲で24時間の観測可能
準拠楕円体高が求まる
○発展
航測カメラと連動することで,高精度な空中三角測量が可能となり，撮影標定図が自動出力きれる
音響測深機と連動することで，海洋調査，河川の流量流速観測が行える

GNSS⑳

○ジオイド補正:H=h-N
GNSS 観測からは WGS-84 系に準拠する**楕円体高 h** が求まる
ジオイド高 N を補正し楕円体高から**標高 H** を求める
○日本測地系:
ベッセル楕円体を経緯度原点と水準原点で地球に張り付けた地平座標系
○ITRF 系:
地球の重心を原点とする三次元地心
直交座標系
X 軸は、原点からグリニッジ子午線が赤道と交わる点の方向
Y 軸は，原点から東経 90°の子午線が赤道と交わる点の方向
Z 軸は，地球の自転軸

GNSS㉑

○座標変換
WGS-84 系への変換パラメータ
基準点座標 92，パラメータマップ
座標変換プログラム:TKY2WGS

GNSS㉒

○基線ベクトル
観測データを解析し衛星からの距離差(行路差)より求める
0.001m までは

$$S^2 = (X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2$$

GNSS㉓

①スタティック法(静的)
精度:数百 km で数 cm
測量点にアンテナと受信機を設置し、全点同時に GNSS 電波を受信記録する
②短縮スタティック法
③キネマテック法(動的)

既知点に1台の受信機を固定し，もう1台の受信機を複数の未知点を順次移動し観測する

○観測時間

基準点測量	観測時間	データ取得	衛星数
	分以上	秒以上	
1･2･3･4	60	30	4
3･4 級	20	15	5
4 級	1	5	5

GNSS㉔

○受信高度角：15 度を標準
　上空視界が確保できない場合は，30 度まで緩和してよい

GNSS㉕

○検定
国土地理院の GNSS 比較基線場において観測値と基線長の差が許容範囲内かを点検
GNSS 比較基線場の使用が困難な場合は，1km 以上離れた 2 点以上の任意の点を設け検定された光波等により測定し，基線長とする
GNSS 観測し基線長との差が許容範囲内かを点検

GNSS㉖

○観測値の点検

基線ベクトルの環閉合差：$25\text{mm}\sqrt{N}$

異なるセッション多角形の、基線ベクトル各成分の環閉合差を計算する
重複する基線ベクトルの較差：25mm
重複する基線ベクトルの各成分を比較点検する

GNSS㉗

○仮定三次元網平均計算
既知点1点を固定し，既知点2点以上から，三次元網平均計算により求める
重量は，分散-共分散行列の逆行列を用いる
基線解析から求まる値
非対角要素 0，対角要素 0.007 ㎡とした値

GNSS㉘

○許容範囲
基線ベクトルの偏差：25mm
方位角の偏差：5″
斜距離の偏差：20mm+4ppmD
楕円体比高の偏差：30mm+4ppmD
水平位置の閉合差：

$$\triangle s=10+4\sqrt{N}(\text{cm})$$

△s：成果値と網平均計算で求まる距離
N：既知点までの最短辺数
ジオイド傾斜量：20+10S(cm)
S：球面距離(km)
新点水平位置の ME：10cm
新点標高の ME：20cm
斜距離の偏差：8cm

GNSS㉙

○偏心要素
偏心距離：斜距離
偏心角：方位角，高低角，高低差
トータルステーション等は
偏心距離：基準面上の距離
偏心角：零方向と本点間の夾角

GNSS㉚

○ベクトル3成分

$$X = D\cos\alpha\cos T$$
$$Y = D\cos\alpha\sin T$$
$$Z = D\sin\alpha$$

D：斜距離
α：高低角
T：方位角

GNSS㉛

○距離計算

$$D_o = \sqrt{(D\cos\alpha)^2 + (D\sin\alpha + i_1 - f_2)^2}$$

D：観測斜距離
α_1，α_2：高低角
$\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$

右辺ベクトル：
局所地平座標系の相対位置ベクトル
左辺ベクトル：
地心直交座標系の相対位置ベクトル
ベクトル絶対値：右辺=左辺

GNSS㉜

○新点標高決定
鉛直線偏差を未知量とし，三次元網平均計算より求める
GNSS 観測と水準測量より，局所ジオイドモデルを求め，ジオイド高を補正する
国土地理院のジオイドモデルから，ジオイド高を補正する

GNSS㉝

○利点
長距離で高精度な測量が可能
観測点間の視通がなくてもよい
三次元的な相対位置が求まる
天候障害が少ない
全地球的範囲で24時間の観測可能
準拠楕円体高が求まる
○発展
航測カメラと連動することで，高精度な空中三角測量が可能となり，撮影標定図が自動出力きれる
音響測深機と連動することで，海洋調査，河川の流量流速観測が行える

GNSS㉞

○GNSS
①選点条件：上空視界を確保する
②電磁波種類：電波
（マイクロ波，L1.L2 帯）
③観測量：搬送波位相
（位相差行路差，衛星距離）
④天候影響：受にくい
⑤気象測定：不要
⑥誤差要因：電磁層伝搬遅延誤差
対流圏伝搬遅延誤差
整数値バイアス
アンテナ高計測誤差
時計誤差
軌道情報誤差
サイクルスリップ

GNSS㉟

○光波測距儀
①選点条件：測点間の視通が必要
②電磁波種類：光波
（赤外線，可視光線）
③観測量：水平角，高低角，距離
④天候影響：受やすい
⑤気象測定：必要
⑥誤差要因：視準誤差，読定誤差
目盛誤差，気象測定誤差
器械定数誤差
反射鏡定数誤差
変調周波数誤差
位相測定誤差

GNSS㊱

○電子基準点
1）全国に 20-25 ㎞間隔（南関東，東海 10-15 ㎞間隔）で 1,229 点配置
2）ピラー，アンテナ，受信器，通信機器で構成，基礎部には TS 用に金属標を配置

GNSS㊲

○ベッセル楕円体から GRS80 楕円体への変換式

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix}$$

ここで、
X_A, Y_A, Z_A：Bessel 楕円体での値、
T_1, T_2, T_3：原点移動量、
R_1, R_2, R_3：Z 軸を時計回りに R_1 を回転させ X 軸を平行にし，次に X 軸を時計回りに R_2 回転させ Y 軸を平行にし，最後に Y 軸を R_3 回転させて3軸を完全に平行にします。
D：スケール補正
X_B, Y_B, Z_B：GRS80 での値。

GNSS㊳

○三次元網平均計算
地心直交座標系の観測方程式

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x_2 \\ \delta y_2 \\ \delta z_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta y_1 \\ \delta z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X^o \\ \Delta Y^o \\ \Delta Z^o \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X_{ob} \\ \Delta Y_{ob} \\ \Delta Z_{ob} \end{bmatrix}$$

残差＝未知量−未知量+概算値−観測値
ただし，GNSS 基線ベクトルは

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

GNSS㊴国土地理院が行う基準点の測量にプレートの運動などに伴う地殻変動による歪みの影響を取り除く「セミ・ダイナミック補正」を平成22年1月から導入する。また、公共測量では、同月以降に実施される電子基準点のみを既知点とする1級基準点測量に適用する。

補正の対象とするもの
・プレート運動に伴う定常的な地殻変動
・一時的な広域地殻変動（スロースリップ）
・広域的な地盤沈下

補正の対象としないもの
・地震に伴う地殻変動（成果の改定）
・1 点だけの局地的な地盤変動、人工的ノイズ（原因調査）

補正の対象とする測量
既知点間が長いほど、地殻変動によるひずみが測量計算に及ぼす影響が大きいと考えられ、電子基準点のみを既知点とする測量を対象とする。

〇基本測量
・電子基準点の成果計算
・高度地域基準点測量
・国土調査の基準点測量
・三角点改測

〇公共測量
・1 級基準点のうち、電子基準点（付属標を除く）のみを既知点として用いる測量
・※地籍測量などのように既知点間の距離の短い測量では補正の効果がないので不要。

GNSS㊵

平成 23 年 12 月 1 日以降、電子基準点のアンテナ機種が順次、変更されます。公共測量等において電子基準点データを使用する際は、必ずアンテナ機種を確認のうえ、正しいPCV補正データを取得・利用してください。

個々の GPS アンテナの位相特性の検証実験等を行い、その対応について検討してきた結果、スタティック測量に関して、これまでのアンテナ定数による補正ではなく PCV 補正を実施し、また、アンテナ高の計測も、統一した方法（アンテナ底面高の測定）で実施することとしました。電子基準点（付属金属標は除く）、GPS 固定点を既知点として利用する場合も同様に PCV 補正を適用します。
これにより、同一セッションにおける異機種間観測での高さ方向の精度が保持・向上されます

GNSS㊶

平成 23 年 12 月 1 日以降、電子基準点のアンテナ機種が順次、変更されます。公共測量等において電子基準点データを使用する際は、必ずアンテナ機種を確認のうえ、正しい**PCV補正データ**を取得・利用してください。

個々の GPS アンテナの位相特性の検証実験等を行い、その対応について検討してきた結果、スタティック測量に関して、これまでのアンテナ定数による補正ではなく **PCV 補正**を実施し、また、アンテナ高の計測も、統一した方法（アンテナ底面高の測定）で実施することとしました。電子基準点（付属金属標は除く）、GPS 固定点を既知点として利用する場合も同様に **PCV 補正**を適用します。
これにより、同一セッションにおける異機種間観測での高さ方向の精度が保持・向上されます

GNSS㊷平成 24 年[No. 5]
GNSS 測量機を用いて、既知点A,新点B間を測量した結果、既知点 A から新点 B までの距離は 5,000.00m、新点 B の楕円体高は 12.00mの値を得た。新点 B の標高はいくらか。
最も近いものを次の中から選べ。
ただし、既知点 A の標高は 20.00m、楕円体高は 25.00mであり、ジオイド面は、楕円体面に対し、既知点 A から新点 B の方向へ距離 1,000.00m当たり、-0.02mの一様な傾斜をしているものとする。また距離は、楕円体面上の距離とする。

1. 6.90m
2. 7.10m
3. 11.90m
4. 12.10m
5. 16.90m

解答 2

GNSS㊸平成 24 年[No. 6]

次の文は、公共測量における GNSS 測量機について述べたものである。明らかに間違っているものはどれか。
次の中から選べ。

1. 10km以上の距離の基線解析を行う場合は、L1,L2 の 2 周波の電波を利用することにより、電離層における電波の伝搬遅延を補正することができる。

2. 観測中に、GNSS 衛星からの電波が瞬間的に切断され発生するサイクルスリップは、解析処理で検出及び編集することができる。

3. 相対測位では、GNSS 衛星と受信機の時刻のずれによる誤差は計算処理で消去することができる。

4. スタティック法及び短縮スタティック相におけるアンテナ高の測定は、測量標の上面から GNSS アンテナ位相中心までの距離とする。

5. 対流圏の影響による誤差や多重反射(マルチパス)の影響を軽減するため、GNSS 衛星の最低高度角を設定する。

解答 4

GNSS㊹平成 24 年[No. 8]
次の文は、公共測量におけるセミ・ダイナミック補正について述べたものである。(ア)～(エ)に入る語句の組み合わせとして最も適当なものはどれか。次の中から選べ。

セミ・ダイナミック補正とは、測量して得た観測結果と、現在公開されている三角点等の基準点の測量成果との間に生じる定常的な地殻変動に起因する乖離を補正するものである。(ア　　)測量において、(イ　　)を既知点とする場合は、(ウ　　)を使用したセミ・ダイナミック補正を適用しなければならない。
使用する(ウ　　)は、その(エ　　)が決められている。

ア　　イ　　ウ　　エ
1. 1 級基準点　電子基準点のみ　標高補正パラメータ　適用期間
2. 1 級基準点　電子基準点のみ地殻変動補正パラメータ適用期間
3. 1級基準点　三角点のみ　標高補正パラメータ　　使用回数
4. 1 級及び 2 級基準点電子基準点のみ地殻変動補正パラメータ適用期間
5. 1 級及び 2 級基準点　三角点のみ　標高補正パラメータ使用回数

解答 2

GNSS㊺平成 25 年[No.7]≪GNSS≫
次の文は、衛星測位システムについて述べたものである。(ア　　)～(エ　　)に入る語句の組み合わせとして最も適当なものはどれか。次の中から選べ。

GNSS については、日本が打ち上げた(ア　準天頂衛星　)など新たな衛星測位システムや、既に運用されているロシアの(イ GLONASS　)などもあり、今後は各システムにおける測位衛星の追加や(ウ　　)の導入など、更なる充実が図られる予定である。
この動向により、国土地理院が管理する(エ　　)もこの変化に対応するため、使用機器更新し各種測量や地殻変動の監視に対応できる体制を整備しつつある。
また、これらの衛星測位システムを用いた測位技術は、建設機械の位置情報及び現場状況(施工状況)と設計値との差異を車載モニタを通じてオペレータに提供し、操作をサポートする情報化施工の技術にも応用されている。

ア　　イ　　ウ　　エ
1. 準天頂衛星　~~GPS　次世代型 GPS 衛星　電子基準点~~
~~2. 測地実験衛星　GLONASSS　準天頂衛星　電子基準点~~
3. 準天頂衛星　GLONASS　次世代型 GPS 衛星　電子基準点
~~4. 測地実験衛星　GLONASS　準天頂衛星　三角点~~
5. 準天頂衛星　~~GPS　次世代型 GPS 衛星　三角点~~

解答 3

GNSS㊻平成 25 年[No.8]≪GNSS≫
次の文は、公共測量において GNSS 測量機を用いた RTK 法、ネットワーク型 RTK 法及び短縮スタティック法について述べたものである。明らかに間違っているものはどれか。次の中から選べ。

1. RTK 法では、固定局及び移動局で同時に GNSS 衛星からの信号を受信し、固定局の観測データを移動局へ送信し、移動局側において解析処理を行うことで固定局と移動局の間の基線ベクトルが求められる。○
2. ネットワーク型 RTK 法を用いた 3 級及び 4 級基準点を行う方法として、直接観測法と間接観測法の二つがある。○
3. ネットワーク型 RTK 法で用いる補正データ又は面補正パラメータは、3 点以上の電子基準点リアルタイムデータを用いて求められている。○
4. 短縮スタティック法や RTK 法では、整数値バイアスを短時間で正確に決定するための技術が導入されている。○
5. RTK 法では、スタティック法と比較して観測する時間が極端に短いため、マルチパスによる影響を受けない。×

解答 5

GNSS㊼

緯度経度から XYZ への変換
$X = (N + h)\cos\varphi\cos\lambda \cdots (1)$
$Y = (N + h)\cos\varphi\sin\lambda \cdots (2)$
$Z = |N(1 - e^2) + h|\sin\varphi \cdots (3)$

$$h = H + N_g$$

ただし、
φ:緯度　λ:経度　H:標高　Ng:ジオイド高
N:卯酉線曲率半径　e:第一離心率　h:楕円体高

$$N = a/W$$

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

XYZ から緯度経度への変換
(2)/(3)より

$$\tan\lambda = \frac{Y}{X}$$

$$P^2 = X^2 + Y^2 = (N + h)^2 \cos^2 \varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{N + h}$$

(3)より

$$\sin\varphi = \frac{Z}{N(1 - e^2) + h}$$

上の2つの式より

$$\tan\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{N + h}{P} \frac{Z}{N(1 - e^2) + h} = \frac{Z}{P - \frac{PNe^2}{N + h}}$$

$$= \frac{Z}{P - N_{i-1} e^2 \cos\varphi_{i-1}}$$

ϕ は繰り返し計算

$$h = \frac{P}{\cos\varphi} - N$$

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

ただし、ϕ の収束条件$|\varphi_i - \varphi_{i-1}| \leq 10^{-12}(\text{rad})$
ϕ i:i 回目の計算結果

$$\tan\varphi_i = \frac{Z}{P}$$

測量士

〔No.8〕多角測量

三角点

多角測量①

正弦定理:$\frac{a}{\sin A}=\frac{b}{\sin B}=\frac{c}{\sin C}=2R$

余弦定理:$a^2=b^2+c^2-2bc\cdot\cos A$

面積:S=abc/(4R)

多角測量②

○偏心補正

1)視準点(目標)の偏心

$$\frac{S}{\sin\varphi}=\frac{e}{\sin x}$$

$$\sin x=\frac{e}{S}\cdot\sin\varphi$$

S'が既知の場合(2辺夾角)

$$\tan x=\frac{e\sin\varphi}{S'-e\cos\varphi}$$

$$S^2=(S'-e\cdot\cos\varphi)^2+(e\cdot\sin\varphi)^2$$
$$=S'^2+e^2-2S'e\cdot\cos\varphi$$

多角測量③

○鉛直軸誤差:$(v)=v\times\sin U\times\tan H$

v:鉛直軸傾斜角

U:鉛直軸最大傾斜角と視準目標角

H:視準高度角

v_{max}=v×tanH(U=90°のとき)

気泡管軸が鉛直軸に直交していない

目標高低角が大きくなると誤差も大きくなる

気泡偏位量で観測値を補正すると誤差は小さくなる

多角測量④

○水平軸誤差:$(i)=i\times\tan H$

水平軸が鉛直軸に直交していない

多角測量⑤

○視準軸誤差:$(c)=c\times\sec H$

視準線が水平軸に直交していない

多角測量⑥

目盛盤の偏心誤差:外心誤差

視準軸の偏心誤差

目盛誤差:目盛間隔が均等でないことによる誤差

180°/n ずつ目盛位置を変えて観測する

多角測量⑦

高低計算

正観測(既知点→求点):両差 K は+

$$H_2=H_1+L\sin\alpha_1+i_1-f_2+K$$

反観測(求点→既知点):両差 K は−

$$H_2=H_1-L\sin\alpha_2-i_2+f_1-K$$

正反の平均→両差 K は消去される

$$H_2=H_1+L\sin\frac{1}{2}(\alpha_1-\alpha_2)+\frac{1}{2}(i_1+f_1)-\frac{1}{2}(i_2+f_2)$$

(例①)正の観測

既知点 1 の標高 H_1= 200.000m

既知点 1 での高低角 α_1=1° 32′ 50″

点 1-2 間の斜め距離 L=1499.475m

既知点 1 での器械高 i_1=1.4m

求点 2 での目標高 f_2=1.9m

H_2=40.487+1.4−1.9=239.987m

(例②)反の観測

既知点 1 の標高 H_1 =200.000m

求点 2 での高低角 α_2=−1° 31′ 40″

観測斜め距離 L= 1500.000m

求点 2 での器械高 i_2=1.5m

既知点 1 での目標高 f_1=1.8m

H_2=200.000−39.992−1.5+1.8=240.292m

多角測量⑧

気差

測定距離 S を挟む中心角:$\theta'\approx\frac{S}{R'}$

S を挟む地球の中心角:$\theta=\frac{S}{R}$

屈折係数k=R/R'(=0.14)

(気差)$=\frac{S\theta'}{2}=\frac{S^2k}{2R}$

球差

(球差)$=S\beta=\frac{S^2}{2R}$

両差

両差 K=球差－気差

$=\frac{S^2}{2R}-\frac{S^2k}{2R}=\frac{S^2}{2R}(1-k)$

両差＋:既知点→求点

両差－:求点→既知点

(例③)

水平距離 S=1,500.000m

球差=0.176m

気差=0.025m

両差 K =球差−気差=0.152m

多角測量⑨

傾斜補正:$C_g=-\frac{h^2}{2L}$

L:斜距離

$D=L-\frac{h^2}{2L}$

(例)

L=500.000m

h=16.0m

Cg=−0.256m

水平距離 D=500.000−0.256=499.744m

多角測量⑩

投影補正:$C_h=-\frac{D\cdot H_m}{R}$

H_1:点 1 の標高

i_1:点 1 の器械高

H_2:点 2 の標高

i_2:点 2 の器械高

R=6,370km

H_m:楕円体上の両端点の平均高さ

N_g:両端点の平均ジオイド高

D:測定距離

$$H_m=\frac{1}{2}[(H_1+i_1)+(H_2+i_2)]+N_g$$

(例)

点 1 の標高 H_1=75.50m

点 2 の標高 H_2=180.17m

$i_1=i_2$=1.5m

楕円体上の平均高

$$H_m=\frac{1}{2}[(H_1+i_1)+(H_2+i_2)]+N_g$$

$$=\frac{1}{2}[(75.50+1.5)+(180.17+1.5)]+35.00$$

$$=129.335+47.66=176.995m$$

楕円体上の平均高での水平距離

D=1,997.259m

N=47.66m

$R=\sqrt{MN}=6{,}365{,}217m$

$$C_h=-\frac{1{,}997.259(176.995)}{6{,}365{,}217}$$

$$=-0.0555m$$

水平距離 L=1,997.259+(−0.0555)=1,997.203m

注)N_gは GSI の HP から緯度、経度を用いてジオイド 2000 から得られます。

多角測量⑪

基準面上の距離(S)

$$S=\frac{L\cos\left(\frac{\alpha_1-\alpha_2}{2}\right)}{1+\frac{H_m}{R}}$$

S:基準面上の距離

L:斜距離(上で用いた D と同じ)

H_1:A 点の標高

i_1:A 点の器械高

H_2:B 点の標高

i_2:B 点の器械高

α_1:A 点における高低角

α_2:B 点における高低角

N:ジオイド高(A,B の平均値)

R:地球の平均半径

$$r=\sqrt{MN}$$

又は R=(2a+b)/3

M:子午線曲率半径

N:卯酉線曲率半径

a:地球の長半径

b:地球の短半径

厳密には r を用いるが、中等曲率半径 R で計算しても影響がない。

H_m:楕円体上の平均高さ

$$H_m=\frac{1}{2}[(H_1+i_1)+(H_2+i_2)]+N_g$$

多角⑫(平成 23 年多角)

準拠楕円体上の距離を求める。

D=3,216.06m
H_1=48.78m
i_1=1.4m
H_2=298.63m
i_2=1.4m
準拠楕円体上の平均高さ

$$H_m = \frac{1}{2}[(48.78 + 1.4) + (298.63 + 1.4)] + 35.00$$
$$= 210.105\text{m}$$

既知点 1 での高低角 α_1=+5° 57′ 54″
求点 2 での高低角 α_2=−6° 02′ 06″

平均高低角$\alpha_m = \frac{1}{2}(\alpha_1 - \alpha_2) = 6°$

Ng=35.00m
$R = 6{,}370\text{km}$

$$S = \frac{3{,}216.06\cos 6°}{1 + \frac{210.105}{6{,}370{,}000}}$$

S=3,198.442/1.00003298=3,198.337m

多角測量⑬

○スチールテープによる距離の計算

$$S = L + L \times \frac{\Delta\ell}{\ell_o} + \alpha(t - t_o)L + C_g + C_h$$

α(t−t_o)L>0 のとき:＋補正
傾斜補正 Cg:－補正
投影補正 Ch:H>0 のときは－補正

多角測量⑭

○朝夕の角観測
水平角:朝夕がよい
高低角:朝夕は避ける

多角測量⑮

○零方向、基準方向
自点より高次点を採用する
全方向の平均距離，平均高度を配慮
北方の点を採用する

多角測量⑯

○球面から平面への投影(s/S)＝線の縮尺係数
(平面直角座標系)3 項目までで十分

S/s=1/m_0[1−(y_1^2+$y_1 y_2$+y_2^2)/($6r^2m_0^2$)+η^2t(x_2−x_1)(y_2^2−y_1^2)/($6r^3m_0^3$)] =1/m_0[1−(y_1+y_2)²/($8r^2m_0^2$)−(y_2−y_1)²/($24r^2m_0^2$)+η^2t(x_2−x_1)(y_2^2−y_1^2)/($6r^2m_0^2$)]

s/S=m_0[1+(y_1+y_2)²/($8r^2m_0^2$)+(y_2−y_1)²/($24r^2m_0^2$)]
(注意)mの縮尺係数は「点の縮尺係数」である。
y:y 座標値

r:平均曲率半径 $r = \sqrt{MN}$

子午線曲率半径$M = \frac{a(1-e^2)}{W^3}$ ，

卯酉線曲率半径$N = \frac{a}{W}$ ， $W = \sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}$ ，

ϕ:平均緯度
m_o:原点の縮尺係数(0.9999)

(例題①)線の縮尺係数s/S により球面距離を求める。
x1=−37928.196、y1= −8327.699
緯度 ϕ 1= 35° 39’ 29”.1572
子午線収差角 γ = −0° 03’ 13”.02156
x2=11479.722、y2= 23027.171
mo=0.9999
(解答)
平面距離 (s)＝58517.264m
方向角 t＝ 32° 23’58”.964
球面距離 S＝ 58523.019m
(s/S)＝1.000098
縮尺係数(点 1) (m)＝ 0.999901
方位角 α1＝ 32° 20’ 46”.209

(点の縮尺係数)
m=m_0[1+y^2/($2M_1N_1m_0^2$)+y^4/($24M_1^2N_1^2m_0^4$)]

多角測量⑰

方位角
A 点を通る子午線を基準に B 点まで測った角
方向角
平面直角座標系において，A 点を通り X 軸に平行な直線の+X’の方向から右周りに B 点の方向まで測った角
真北方向角
(方位角)＝(方向角)−(真北方向角)

多角測量⑱

三角点成果表
①三角点ごとに作成され，標題に三角点の等級，点名，標石番号を表示
②B,L は準拠楕円体上の地理学的緯度，経度を示す

③真北方向角は，当該三角点を通る北側の子午線方向の方向角
④X,Y は平面直角座標系の座標値を示す
⑤標高(H)は東京湾平均海面（ジオイド）上の高さを示す
⑥ジオイド高は準拠楕円体を基準としたジオイド面までの高さを示す
⑦柱石長は永久標識を設置した在位の柱石，又は金属標の長さを示す
⑧平均方向角は，当該三角点から視準点方向の準拠楕円体面上の球面方向角で，平均計算で得られた値で表す
⑨距離は，当該三角点から視準点までの準拠楕円体上の球面距離を表す
⑩縮尺係数mはその点における点の縮率である。

多角測量⑲

座標の計算

$$X_i = X_o + \sum S_i \cdot \cos T_i$$
$$Y_i = Y_o + \sum S_i \cdot \sin T_i$$

X_o,Y_o:既知点 O の座標
T_i:X 軸に平行な方向から測線までの右周りの水平角
S_i:測定辺長（平面距離）

閉合トラバース

(内角の条件)$\sum \beta_i = (n-2)180^o$

(外角の条件)$\sum \beta_i = (n+2)180^o$

(方向角の条件)

（一例：点 A’,B’が X 軸の内側にある場合）

$$\alpha_B = T_a + \beta_a + \beta_b + \sum_1^n \beta_i - (n-1)180^o$$

多角測量⑳

結合多角：混在する多角網の他，X,Y,A 型がある。
単路線：両端に既知点を有し，一路線で新点を結ぶ方式。
閉合多角：2 個以上の単位多角（閉合多角形）により形成される多角方式。

多角測量㉑

測距と測角の精度の釣り合い

$$(dS)_i = S_i \cdot \frac{dT_i}{\rho''}$$

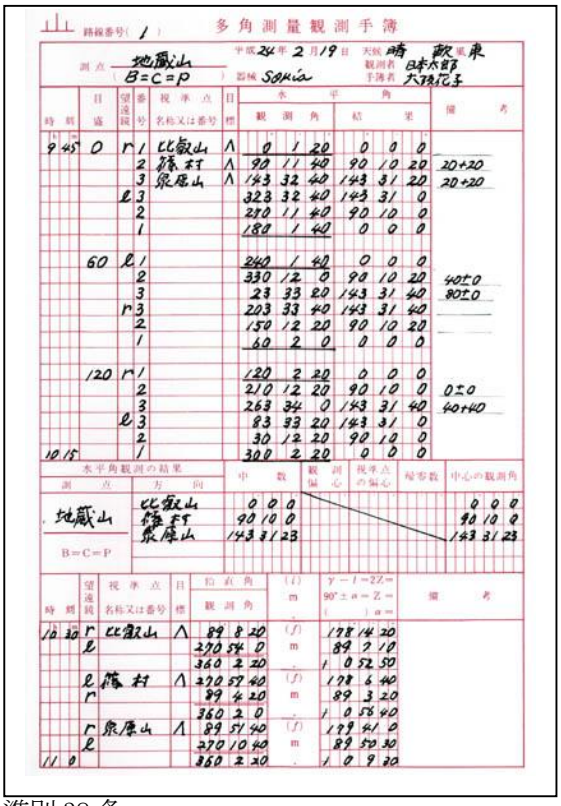
dS：測線の誤差
S･dT：測線に直角方向の誤差
dT：方向角の誤差

$$(dS)_i = S_i \cdot \frac{d\beta_i}{\rho''}$$

$d\beta$：交角の誤差

多角測量㉒

水平角の測定
倍角，較差，倍較差、観測差
r：正
ℓ：反
倍角：r+ℓ
較差：r−ℓ
倍角差：倍角の最大−最小差
観測差：較差の最大−最小差
（水平角観測手簿）



準則 38 条

	倍角差	観測差
1 級基準点測量	15”	8”
2 級（1 級 TS）	20”	10”
2 級（2 級 TS）	30”	20”
3 級	30”	20”
4 級	60”	40”

上の例は 4 級基準点測量とすると、
①倍角差
篠村＝40”＜60”→合格
泉原山＝60”＝60→合格

②観測差
篠村＝40”＝40”→合格
泉原山＝40”→合格
③方向(測点地蔵山)
比叡山＝0° 0′ 0″
篠村＝90° 10′ 0″
泉原山＝143° 31′ 23″

鉛直角の測定
比叡山＝+0° 52′ 50″
篠村＝+0° 56′ 40′
泉原山＝+0° 9′ 30″
④高度定数差＝20″
(上の例からすると合格)
準則 38 条(高度定数の較差)

	高度定数の較差
1 級基準点測量	10″
2 級(1 級TS)	15″
2 級(2 級TS)	30″
3 級	30″
4 級	60″

多角測量㉓

○倍角，倍角差，較差，観測差に含まれる誤差
目標の視準誤差
目盛盤の読取誤差
目盛盤の目盛誤差
視準軸誤差･水平軸誤差
鉛直軸誤差
偏心誤差

区分					⑤	⑥
倍角	○	○	○		○	
倍角差	○	○	○			
較差	○	○		○		
観測差	○	○				

多角測量㉔

新点精度:$\mathbf{M = m\sqrt{Q}}$

Q:図形の良否
(Q は小さいほど図形の精度は良い)
m:単位重み精度(秒)

多角測量㉕

閉合誤差:$\mathbf{E = \sqrt{e_\ell^2 + e_d^2}}$

閉合比: $R = \frac{\mathbf{E}}{\Sigma \mathbf{L}}$

$= \frac{\sqrt{e_\ell^2+e_d^2}}{\Sigma L}$

多角測量㉖

トラバースの調整
コンパス法則
角度，距離の精度が等しいとき

$$\delta_{xi} = +(w_x) \times \frac{S_i}{[S]}$$

$$\delta_{yi} = +(w_y) \times \frac{S_i}{[S]}$$

Si:各測線長
[S]:全長
トランシット法則
角度の精度が，距離より高いとき
各々の緯距，経距に比例配分

多角測量㉗

○観測方程式(測距)

$$v'_{ij} = b_{ij}\Delta x_i - a_{ij}\Delta y_i - b_{ij}\Delta x_j + a_{ij}\Delta y_j + \ell_{ij}$$

$a_{ij} = \frac{(y'_j - y'_i)}{s'^2_{ij}}\rho'', b_{ij} = \frac{(x'_j - x'_i)}{s'^2_{ij}}\rho''$、$\ell_{ij} = \frac{(S'_{ij} - S^b_{ij})}{S'_{ij}}\rho'', v'_{ij} = \frac{v_{ij}}{S'_{ij}}\rho''$

既知点:$\Delta x_i = \Delta y_i = 0$

○観測方程式(方向観測)

$$\mathbf{v_{ij} = -z_i + a_{ij}\Delta x_i - a_{ij}\Delta x_j + b_{ij}\Delta y_i - b_{ij}\Delta y_j}$$

$$\mathbf{+\left(T'_{ij} - Z'_i - L^b_{ij}\right)}$$

$$\mathbf{S'_{ij} = \{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2\}^{1/2}}$$

多角測量㉘

○方程式数
角観測数が6で，距離観測数が4なら，方程式数は 10
○未知数:新点×2

多角測量㉙

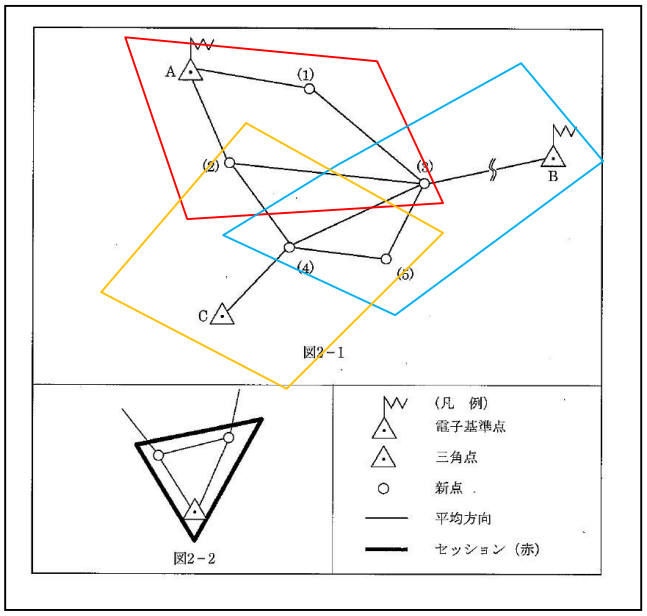
現地計算
①観測値の補正計算

器械高，目標高不等による高度角の補正計算
距離の補正計算
（斜距離→直角平面距離）
偏心計算：水平角，距離の計算
②観測値良否の点検計算
標高閉合差の点検計算
方向角の点検計算
座標値の点検計算

多角測量㉚

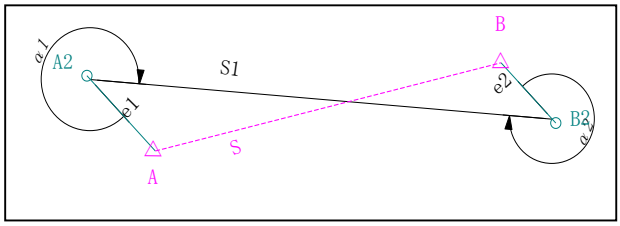
（平成 24 年午後 No.2）

1 級基準点測量の結合多角方式により(1)～(5)の新点 5 点を設置する平均図を次に示す。
最も効率的な観測を行うための観測図を色分けして示せ。ただし、既知点A及びBは電子基準点、既知点Cは三角点、1 級 GNSS 測量機は最大 3 台まで使用できることとする。



多角測量㉛

(偏心観測)基準面上の距離 S を求める。



S_1	1,118.300m
e_1	106.082m
α_1	315° 00’00″
e_2	50.000m
α_2	330° 00’00″

余弦定理より

$$\overline{AB_2}^2 = {S_2}^2 = e_1^2 + S_1^2 - 2e_1S_1\cos(360° - \alpha_1)$$

$$= 106.82^2 + 1{,}118.3^2 - 2 \times 106.82 \times 1{,}118.3\cos45°$$

$$= 106.082^2 + 1{,}118.3^2 - 2 \times 106.082 \times 1{,}118.3 \times 0.707$$

$$= 11{,}253.391 + 1{,}250{,}594.89 - 167{,}744.942$$

$$= 1{,}094{,}103.339$$

$$S_2 = 1{,}045.994\text{m}$$

正弦比例式から$x = \angle A_2B_2A$

$$\frac{\sin x}{e_1} = \frac{\sin(360^o - \alpha_1)}{S_2},$$

$$\sin x = \left(\frac{e_1}{S_2}\right)\sin45° = \left(\frac{106.082\text{m}}{1{,}045.994\text{m}}\right) \times 0.707 = 0.07172$$

$$x = \sin^{-1} 0.0717 = 4°06'42"$$

また、ΔABB_2において余弦定理より

$$S^2 = S_2^2 + e_2^2 - 2S_2e_2\cos(360° - \alpha_2 + x)$$

$$= 1{,}045.994^2 + 50^2 - 2 \times 1{,}045.994 \times 50\cos34°06'42"$$

$$= 1{,}094{,}103.448 + 2{,}500 - 104{,}599.4 \times 0.8279$$

$$= 1{,}096{,}603.448 - 86{,}597.843 = 1{,}010{,}005.605$$

$$S = 1{,}004.990\text{m}$$

測量士

〔No.9〕機器②水準儀(レベル)

レベル①

気泡管の感度
気泡管軸:直読式の場合には，気泡管の目盛の中央の接線，合致式の場合には気泡が合致して見える状態の気泡の中央の接線である。
感度
気泡管の曲率半径を用いる場合
2mm＝R× θ
気泡管上の目盛(2mm)に対する中心角　θ　で表す場合
10”/2mm

(気泡管の感度の測定)
レベルと標尺の距離(S)を 20-30mに置き，レベルをほぼ水平(気泡管の目盛の読み dℓ)にする。
その時の標尺の読みを a とする。
水準儀の俯仰ねじを回転し気泡管の目盛をn目盛だけ動かす(気泡の読み dr)。
その時の標尺の読みはbとする。
気泡管の感度(傾角)

$$\theta'' = \frac{b-a}{S}\rho''$$

気泡管の目盛d(mm)＝2mm×n
気泡管目盛 1mm に対する傾角: θ /d
感度＝2 θ ”/d(mm)

レベル②

○機能点検
水準器感度:40″/2mm 以上を使用
気泡管レベル:円形水準器，主水準器軸と視準線の平行を点検する
自動レベル，電子レベル，円形水準器，視準線の点検，コンペンセータの点検
標尺付属水準器の点検
鉛直軸回転はマイクロメータのフラツキがなく円滑であること
気泡管調整機構が正常で、気泡移動が滑かなこと
望遠鏡の視度調整機構が円滑であること
十字線調整ネジに摩耗がないこと
整準ネジの回転が円滑であること

レベル③

○測定点検
30m 隔てて，2本の標尺を正しく立て，中央にレベルを整置し，両標尺間の高低差を測定する
レベル位置を両標尺で結ぶ直線上に 18m 移動して，再び両標尺間の高低差を測定し，測定値の差が許容範囲内かを点検する
脚向を 180 度かえて2回測定する
(両側目盛標尺は片側2回)
読定単位と許容値

レベル	読定単位	許容値
1級	0.01mm	0.3mm
2級	0.1mm	0.3mm
3級	1.0mm	3.0mm

1視準1読定

レベル④

渡河水準測量
気泡レベル，自動レベル
(自動レベルは交互法のみ)

レベル⑤

水準測量作業用電卓(データコレクタ)
○利点:
従来の手簿にかえて使用できる
電子レベルと組合せることで，観測値が作業用電卓に自動入力でき，誤読や誤入力がなくなる
○性能:
一定容量のデータ保存が可能である
入力観測値の加工ができない
観測値のチェック計算機能がある
耐久性に優れる

電子レベル①

自動レベルとデジタルカメラ(画像処理機能)を組合せたもの
CCD センサーからデジタル情報に変換
コンペンセンタにより水平方向の視準線を確保

電子レベル　　バーコード標尺
測量士

〔No.10〕水準測量

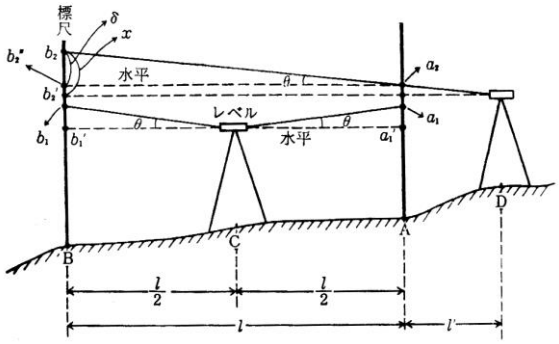
水準測量①

くい打調整

誤差:$\delta = (b_2 - a_2) - (b_1 - a_1)$

補正:$x = \frac{\ell+\ell'}{\ell} \cdot \delta$

δ =0:水平
δ <0:上向
δ >0:下向



①標尺間距離ℓ(30m)の中間にレベルを据える。
②その際の後視b_1,前視 a_1 を読み取る
③レベルを前視の標尺からℓ'(=3m)離れた D 点に移動させる。
④そのときの読み b_2、a_2 を読み取る。
⑤直読式の場合、D 点において $b_2'=b_2-x$ の値を読むように整準ねじで調整し，気泡管調整ねじで気泡を中央に導く。
(合致式の場合)プリズム調整ねじで，気泡の像を一致させる。

水準測量②

(自動レベルの場合)
1. 整準ねじで器械を水平にする。
2. 自動レベルを鉛直軸周りに 180 回転させる。
3. このとき，円形気泡管の気泡がずれているときには，その半分を気泡管調整ねじで調整する。

水準測量③

○誤差消去法
(1)視準軸誤差:等距離で観測する
(2)鉛直軸誤差:
レベルを両標尺の直線上に整置する，レベル脚は特定の2脚が視準線に平行，かつ進行方向に対し左右交互に整置する
(3)三脚沈下誤差:
地盤堅固な場所に整置し，後視，前視，前視，後視と観測する
(4)零点誤差:
偶数回観測する
出発点に立てた標尺を到着点に立てる
(5)標尺台の沈下:
地盤堅固な場所に整置する
(6)球差，気差:等距離で観測する
(7)炎動カゲロウ:距離を短くして観測
(8)目盛誤差:
標尺の上下部両端(20cm)の観測は避ける(気差)
往復観測を行う場合に，往と復の観測で前視と後視の標尺を入れ替えることで，2本の標尺の目盛が不正であるための目盛誤差を小さくできる

水準測量④

○電子レベル，自動レベル
コンペンセータと画像処理機能
鉛直の傾き 10'以内までは自動
視準線の調整が必要
気泡管の調整が必要
バーコード目盛標尺とセットで使用
バーコード目盛標尺の距離

水準測量⑤

○標尺補正:

標尺目盛誤差は目盛線位置刻印誤差と温度変化による伸縮に起因し変化する
これらの誤差を少なくする温度補正
1級，2級水準測量で行う
2級水準測量の標尺補正は，水準点の高低差 70m 以上に 20 ˚C の標尺補正数を用いる

標尺補正量

$$\Delta C = \{Co + (T - T_o) \cdot \alpha\} \cdot \Delta h$$

C_o:基準温度における標尺定数
T:観測時の温度
T_o:基準温度
α:膨張係数
Δh:高低差

(例)

基準温度 T_o=20゜C
基準温度 の尺定数:C_o=−14μm/m
膨張係数:$\alpha = +1.2 \times 10^{-6}$
観測比高:Δh =81.55m
気温:T=15℃とすると、

標尺補正

$$\Delta C = \{-14\mu m + (15 - 20)(+1.2 \times 10^{-6})\} \times 81.55m$$
$$= -1.1mm - 0.5mm = -1.6mm$$

水準測量⑥

楕円補正
水準測量は，水準面を基にして測量する。水準面はその点における重力方向に直交する面を連ねたものであり，重力で決まる面である。重力は、引力と自転のための遠心力との合力である。遠心力は赤道で最大で，極では最小になる。
水準面に対する比高をジオイド面からの標高におきかえる補正

1級，2級水準測量で行う

$$dh(mm) = -5.29 \sin 2\varphi \frac{d\varphi'}{\rho'} H(m)$$

φ：2 点間の中数緯度

dφ：2 点間の緯度差（分）

ρ′=3438’（1 ラジアン）

H(m)：2 点間の平均標高(m)

・低緯度→高緯度：－補正

・高緯度→低緯度：＋補正

正標高：重力補正した標高

正規正標高:標準的な重力値を使用する標高

水準測量⑦

○渡河水準測量(不等距離観測)
誤差:
視準線誤差，球差は消去できる
気差は対岸に水準儀を移動し観測することで，小さくできる
正反観測を2台同時に行う
気象の安定した時期に観測する
両岸の観測点は，地形の類似した場所，水面から高い場所で行う
選点:
両岸高低差:1m 以内
視準線:水面から 3m 以上
両岸観測点:岸に近く、地形の類似した、地盤堅固な断崖等を選定
方法:
観測回数:4セット以内／日
(日出，日没の2時間を除く)
セット観測間隔:30 分以上
T=2S
n=4T
白線幅:4S(cm)
T:観測日数
S:観測距離(km)
n:観測セット数

水準測量⑧

①交互水準測量
標尺に目盛板を取付，これを上下し，レベル視準線と一致させ，標尺目盛を読取り，高低差を求める
目標板:2枚
水準儀:1台
両岸を交互に移動し観測する
1級水準測量:300m 以内
2、3、4級水準測量:450m 以内
(自岸観測1回＋対岸観測5回＋
自岸1回)のセットを両岸で行う
1視準 1mm 読定

水準測量⑨

②俯仰ネジ法
標尺に目盛板を2枚取付，その間隔をレベルの俯仰ネジ(傾動ネジ)目盛による観測で高低差を求める
目標板:4枚

水準儀:2台

俯仰ネジ目盛読取:
1級，2級水準測量:2km 以下
自岸で1視準1読定＋対岸目標板下で1視準1読定＋レベル水平位置で1視準1読定＋対岸目標板上で1視準1読定
往復5回両岸で行う

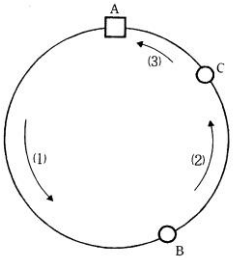
水準儀:4台(5km 以内)
各岸の両水準儀の視準線を正しく調整すれば，自岸のみで視準線誤差を消去でき，対岸へ移動しなくてよい
両岸から同時観測すれば，気差を近似的に消去できる

水準測量⑩

○環条件式数＝路線数－小環数－1
既知点が1点:式の数は最小環数
既知点が複数:式数は環数＋既知点結合数
求点のみ:環条件式はない

水準測量⑪

(方法①)標高 B,C を未知数とする
○観測方程式(3路線)



路線	距離	観測高低差
1	1km	h_1=+17.275m
2	0.5	h_2=−9.683
3	0.25	h_3=−7.549

HA＝30.000m
最確値＝観測値+補正値
路線 1:$H_A + (h_1' + v_1) = X_1$
$v_1 = X_1 - (H_A + h_1') = X_1 - 47.275$ …①
路線 2:$X_1 + (h_2' + v_2) = X_2$
$v_2 = -X_1 + X_2 - h_2, = -X_1 + X_2 + 9.683$ …②
路線 3:$X_2 + (h_3' + v_3) = H_A$
$v_3 = -X_2 - (-H_A + h_3') = -X_2 + 37.549$…③
観測方程式

上の①、②、③から

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 47.275 \\ -9.683 \\ -37.549 \end{pmatrix}$$

又は
行列記号で V=AX−f と書ける。
重量行列 W

$$W = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 1/0.25 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix}$$

正規方程式$A^tWAX = A^tWf$ 又は$NX = F$

$$N = A^tWA = A^t \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$= A^t \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -2 & 2 \\ 0 & -4 \end{pmatrix}$$

$$N = A^tWA = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -2 & 2 \\ 0 & -4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & -2 \\ -2 & 6 \end{pmatrix}$$

$$F = A^tWf = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & -4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 47.275 \\ -9.683 \\ -37.549 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 66.641 \\ 130.830 \end{pmatrix}$$

正規方程式の解:$X=N^{-1}F$

$$|N| = 3 \times 6 - (-2) \times (-2) = 14$$

$$adjN = \begin{pmatrix} 6 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

$$N^{-1} = \frac{adjN}{|N|} = \frac{1}{14} \begin{pmatrix} 6 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$$

$$X = N^{-1}F = \frac{1}{14} \begin{pmatrix} 6 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 66.641 \\ 130.830 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 47.250 \\ 37.555 \end{pmatrix}$$

補正値$v = AX - f$

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 47.250 \\ 37.555 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 47.275 \\ -9.683 \\ -37.549 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.025 \\ -0.012 \\ -0.006 \end{pmatrix}$$

最確値

	比高	補正値	最確値
h_1	17.275	−0.025	17.250
h_2	−9.683	−0.012	−9.695
h_3	−7.549	−0.006	−7.555

補正標高値
点 B の標高 H_B=H_A+h_1＝47.250
点 C の標高 H_C=H_B+h_2＝37.555
点 A の標高 H_A=H_C+h_3=30.000
調整値の精度
自由度＝観測値の数−未知数の数＝3−2＝1

不偏分散

$$\sigma_o^2 = \frac{v^t W v}{n-r} =$$

$$= (-0.025 \quad -0.012 \quad -0.006)\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0\\ 0 & 0 & 4\end{pmatrix} \times \begin{pmatrix}-0.025\\ -0.012\\ -0.006\end{pmatrix}$$

$$= (-0.025 \quad -0.012 \quad -0.006)\begin{pmatrix}-0.025\\ -0.024\\ -0.024\end{pmatrix}$$

$$= (0.00106)(m^2)$$

パラメータの分散行列

$$\sigma_o^2 N^{-1} = 0.00106\begin{pmatrix}3 & -2\\ -2 & 6\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0.0032 & -0.002\\ -0.002 & 0.0063\end{pmatrix} m^2$$

X_1 の標準偏差=0.056m，X_2 の標準偏差=0.079m

(方法②) 高低差を未知数とする

1) 未知数＝近似値+パラメータ

$X=h_1=h_1'+v_1 \rightarrow X=X_0+\Delta X$

$Y=h_2=h_2'+v_2 \rightarrow Y=Y_0+\Delta Y$

2) 観測方程式

$h_1'+v_1=X_0+\Delta X$

$v_1=\Delta X \cdots ①$

$h_2'+v_2=Y_0+\Delta Y$

$v_2=\Delta Y \cdots ②$

$h_1'+\Delta X+h_2'+\Delta Y+h_3'+v_3=0$

$v_3=-\Delta X-\Delta Y-(h_1'+h_2'+h_3')=-\Delta X-\Delta Y-(0.043) \cdots ③$

①、②、及び③より行列に直すと

$$\begin{bmatrix}v_1\\ v_2\\ v_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\\ -1 & -1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta X\\ \Delta Y\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0.043\end{bmatrix}$$

又は $V=A\Delta-f$ と書ける。

3) 重量

$$P = \begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1/0.5 & 0\\ 0 & 0 & 1/0.25\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0\\ 0 & 0 & 4\end{bmatrix}$$

4) 正規方程式 $A^TPA\Delta = A^TPf$

または $N\Delta=F$ より

$$\begin{bmatrix}5 & 4\\ 4 & 6\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta X\\ \Delta Y\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0.172\\ -0.172\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}\Delta X\\ \Delta Y\end{bmatrix} = \frac{1}{14}\begin{bmatrix}6 & -4\\ -4 & 5\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-0.172\\ -0.172\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0.025\\ -0.012\end{bmatrix}$$

5) 補正値

$$\begin{bmatrix}v_1\\ v_2\\ v_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\\ -1 & -1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-0.025\\ -0.012\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0.043\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0.025\\ -0.012\\ -0.006\end{bmatrix}$$

6) 最確値

$H_B=H_A+h_1 = 30 + 17.275 - 0.025 = 47.250m$

$H_C=H_B+h_2 = 47.250 + (-9.683 - 0.012) = 37.555m$

$H_A=H_C+h_3 = 37.555 + (-7.549 - 0.006) = 30.000m$

水準測量⑫

○変動補正

地盤沈下は観測作業中も進行するため，基準日に全路線の全観測は不可能である。

そのための基準日に引きなおす補正

①観測班の接合付近の観測はなるべく同一時期に行う。

②地盤沈下の著しい地区の観測は、基準日付近になるようにして、できるだけ速やかに行う。

③再測は、時期を遅らせることなく速やかに行う。

④基準日への統一は次のようにする。

基準日への補正Δh

$$\Delta h = \frac{\Delta H_2 - \Delta H_1}{T_2 - T_1}(T - T_2)$$

T_1:旧観測年月日

T_2:新観測年月日

T:統一する基準年月日

ΔH_1:T_1 における観測比高

ΔH_2:T_2 における観測比高

Δh: ΔH_2 を基準日の比高に直すための比高

(例)

24 年 9 月 1 日(統一基準日)(T)の推定比高はいくらか。

観測年月日　　観測比高

23 年 8 月 21 日(T_1)　−1.5810m

24 年 10 月 20 日(T_2)　−1.6250m

$$\Delta h = \frac{\Delta H_2 - \Delta H_1}{T_2 - T_1}(T - T_2)$$

$$= \frac{-0.044m}{425\ 日} \times (-49\ 日) = +5.1mm$$

基準日の推定比高

$$-1.6250m + 0.0051m = -1.6199m$$

水準測量⑬

○地盤沈下調査

単期間で行う

前年度と同一時期に行う

前年度と同一地域で行う

1級水準測量の精度を確保する

再測は時期を遅らせず速やかに行う

調査事項:変動が大きい水準点は，前回と今回の観測間に他機関での移転，改埋がないかを確認する

人為的，自動車，その他工事等の移動がないかを確認する

傾斜を確認する
検測を実施し観測値を確認する

補正計算:
異なる観測高低差を統一基準日の観測高低差に引きなおす補正
変動速度を一定と仮定し観測値を基準日の値に引きなおす補正

水準測量⑭

○験潮(検潮)
基準平均海面を決定するため海面の昇降を観測する作業
連続的して, 長期間行う
標高決定の資料とする
地殻変動, 地盤沈下調査の資料とする
長期間の観測から調和解析を行い, 潮汐の周期的要素を求め, 潮位予報を行う
潮位の異状等から高潮等の予報を行う
地域的港湾, 河川工事の資料とする
その他, 科学的研究資料とする

水準測量⑮

○水準測量:
既知点の水準点に基づき、高低差を測定し、新点水準点の標高を定める作業

水準測量⑯

①直接水準測量
2点間の高低差をレベルと標尺を用い直接観測する
レベルを2本の標尺の中央に水平に整置し, 両標尺の目盛を直接読み取り高低差を求める
②渡河水準測量
直接水準測量で結べない水準路線を連結する目的で, 2点間の高低差をレベル, 標尺, 目標板を用い直接観測する
②間接水準測量
2点間の高低差をTS等を用い、角度、距離を観測し, 間接的に求める

水準測量⑰

○既知点の種類, 既知点間の路線長

1級水準測量:1等水準点
1級水準点
150km 以下
2級水準測量:1～2等水準点
1～2級水準点
150km 以下
3級水準測量:1～3等水準点
1～3級水準点
50km 以下
4級水準測量、簡易水準測量:
1～3等水準点
1～4級水準点
50km 以下

水準測量⑱

○級別の測量適用
1級水準測量:地盤変動調査,
トンネル, ダム施工
2級水準測量:
地盤変動調査(変動大の)
水準基標測量(河川測量)
3級水準測量:
仮BM設置測量(平地路線測量)
定期縦断測量(平地の河川測量)
4級水準測量:
仮BM設置測量(山地路線測量)
縦断測量(平地の路線測量)
横断測量(平地の路線測量, 詳細測量)
定期縦断測量(山地の河川測量)
簡易水準測量:
縦断測量(山地の路線測量)
横断測量(山地の路線測量, 詳細測量)
標定点測量(空中写真)
地形補備測量(現地で等高線, 標高点を補備)

水準測量⑲

○順序
作業計画
選点
測量標の設置
観測
計算(現地計算、平均計算)
成果等の整理

水準測量⑳

○観測
往復(簡易水準測量を除く)
標尺測点数は偶数
レベル視準距離を等しく，両標尺を直線上に整置
レベル脚は特定2脚と視準線が常に平行，かつ進行方向に左右交互に整置

水準測量㉑

○視準距離、標尺読定

水準測量	視準距離	読定
1級	50m	0.1mm
2級	60m	1mm
3･4級	70m	1mm
簡易	80m	1mm

水準測量㉒

○標尺の読定方法(1級、2級水準測量)
後視:左小目盛
前視:左小目盛
前視:右大目盛
後視:右大目盛

水準測量㉓

○往復観測の較差:S=片道 km
1級水準測量:2.5mm$\sqrt{S}$
2級水準測量:5mm$\sqrt{S}$
3級水準測量:10mm$\sqrt{S}$
4級水準測量:20mm$\sqrt{S}$

水準測量㉔

⑤点検計算
全単位水準環について，全水準路線の環閉合差，既知点から既知点の閉合差を計算し，観測値の良否を判定する

水準測量㉕

○環閉合差:S=片道 km
1級水準測量: 2mm$\sqrt{S}$
2級水準測量: 5mm$\sqrt{S}$
3級水準測量:10mm$\sqrt{S}$
4級水準測量:20mm$\sqrt{S}$

水準測量㉖

○既知点から既知点の閉合差:S=片道 km
1級水準測量: 15mm$\sqrt{S}$
2級水準測量: 15mm$\sqrt{S}$
3級水準測量: 15mm$\sqrt{S}$

水準測量㉗

○観測の標準偏差(単位重量当り)
1級水準測量: 2mm
2級水準測量: 5mm
3級水準測量:10mm

水準測量㉘

○精度管理
1)観測
検定済機器の使用
往復差が制限内であること
視準距離が制限内であること
標尺の視準位置と傾きが正常
レベルの鉛直軸傾きが正常

観測値の点検
2)計算内容
標尺補正，楕円補正，環閉合差の点検

水準測量㉙

○成果等の整理
①観測成果表，平均成果表
②成果数値データ
③観測手簿
④計算簿
⑤点の記
⑥水準路線図
⑦建標承諾書

⑧精度管理表
⑨点検測量簿
⑩平均図，選点図
⑪測量標識の地上写真
⑫測量標設置位置通知書
⑬基準点現況調査報告書
⑭他資料

○成果区分
測量成果:①②
測量記録:③④⑤⑥
管理資料:⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭

水準測量㉚

○点検事項
①観測成果表，平均成果表

数値の誤り，必要事項の記入漏れ

②観測手簿

誤記，誤算，往復差の再測後の採用方法

③計算簿
誤算，符号，各補正値の数値、閉合差の制　限
④点の記
点名，等級，所在地，所有者の住所氏名，順路，略図
⑤水準路線図
水準点番号，路線
⑥建標承諾書
点名，所有者の住所，氏名，所在地，印漏　れ
⑦精度管理表
誤記，閉合差の制限，点検測量の結果，符　号
⑧平均図
既知点，新点の番号
⑨測量標設置位置通知書
等級，点名，所在地，標識種類番号、設置年月日，所官庁，所有者
⑩基準点現況調査報告書
図名，等級，種類，点番号，故障分類
（再 測）
第 65 条 1級水準測量、2級水準測量、3級水準測量及び4級水準測量の観測において、水準点及び固定点によって区分された区間の往復観測値の較差が、許容範囲を超えた場合は、再測するものとする。
一 往復観測値の較差の許容範囲は、次表を標準とする。

水準測量

	1 級	2 級	3 級	4 級
往復観測の較差	2.5 mm√S	5mm√S	10mm√S	20mm√S
備考	S は観測距離（片道、km単位）とする。			

二 1級水準測量及び2級水準測量の再測は、同方向の観測値を採用しないものとする。

水準測量㉛

（往復観測の 1km当たりの標準偏差）
真の比高:H_j
往観測値:h_j、その誤差 ε_j
復観測値:h_j'、その誤差 ε_j'
往復観測の差:d_j;重量 w_j 、距離:S_j
とすると、

$$H_j = h_j + \varepsilon_j = h_j' + \varepsilon_j'$$
$$h_j - h'_j = \varepsilon_j - \varepsilon'_j = d_j;\ w_j$$

とおけるので、往復差の平方に重みを掛けてnで割ると、往復差の平均二乗誤差（分散）になるから

$$\frac{\sum w_j d_j d_j}{n} = \frac{\sum \varepsilon_j^2}{n} + \frac{\sum \varepsilon_j'^2}{n} - 2\frac{\sum \varepsilon_j \varepsilon'_j}{n} = 2m_o^2$$

（片道では）$m_o^2 = \frac{\sum w_j d_j d_j}{2n}$

1km観測の重量を 1 とすると、$P_j = 1/S_j$なので

$$m_o^2 = \left(\frac{1}{2n}\right)\sum w_j d_j d_j = \left(\frac{1}{2n}\right)\sum \frac{d_j d_j}{S_j}$$

往復の平均値の分散

$$M^2 = \frac{m_o^2}{2} = \left(\frac{1}{4n}\right)\sum \frac{d_j d_j}{S_j}$$

水準測量㉜

（往復観測の 1km当たりの標準偏差）

	距離 S	重量 w	往 hj	復 hj'	d(mm)	dd	dd/S
A→B	2	1/2	29.9716	−29.971	0.5	0.25	0.125
B→C	2	1/2	−43.5326	43.5321	−0.5	0.25	0.125
C→D	2	1/2	−2.7384	2.7414	3	9	4.5
D→E	1.8	1/1.8	18.363	−18.363	0	0	0
E→F	0.5	1/0.5	−46.1692	46.1712	2	4	8

合計	8.3	4.056			5		12.75

$$M^2 = \frac{\sum w_j d_j d_j}{4n} = \frac{12.75}{4 \times 5} = 0.6375$$

$$\mathbf{M = 0.8mm}$$

ここで、距離 S、重量w＝1/S、
往復差 d=往−復=hj−hj’である。

測量士

〔No.11〕地形測量

地形測量①

①作業規程の準則において、地形測量及び写真測量とは、数値地形データ等を作成及び修正する作業をいい、地図編集を含むとされる。

②数値地形データとは、地形、地物等に関する地図情報を、位置、形状を表す座標データ、内容を表す属性データ等として、計算処理が可能な形態で表現したものをいう。

③デジタルマッピング（DM）は数値地形図データに、デジタルオルソデータは写真地図に、名称変更された。地形図は、数値地形データに、縮尺は地図情報レベルとなった。

地形測量②

数値地形図データの精度

地図情報レベル	水平位置のSD	標高点のSD	等高線のSD
250	0.12m以内	0.25m以内	0.5m以内
500	0.25m	0.25m以内	0.5m以内
1000	0.70m	0.33m	0.5m以内
2500	1.75m	0.66m	1.0m
5000	3.5m	1.66m	2.5m
10000	7.0m	3.33m	5.0m

地形測量③

現地測量とは、現地においてTS又はGNSS 測量機により、地形・地物を測定し、数値地形図データを作成する作業をいう。

地形測量④

現地測量は**4級基準点、簡易水準点**又はこれと同等以上の精度を有する基準点に基づいて実施する。

地形測量⑤

使用器械器具
現地測量には、1級～3級TS、1級・2級GNSS測量機、デジタイザ、スキャナ、自動製図機（プリンタ）、図形編集装置が使用される。

地形測量⑥

基準点の点間距離

地図情報レベル	市街地	市街地近郊	山地
250	35m	40m	35m
500	40m	45m	40m
1000	45m	50m	50m

地形測量⑦

TSによる細部測量
1）細部測量とは、基準点又はTS点にTS、GNSS等を設置して、地形・地物を測定し、数値地形データを作成する作業をいう。
2）その地上座標値はmm位とする。
3）細部測量は次のいずれかによる。
オンライン方式：携帯型PC等の図形処理装置を用いて、図形表示しながら計測及び編集を現地で直接行う方式をいう（電子平板を含む）。
オフライン方式：現地でデータ取得して、その後データレコーダのデータを図形編集装置に入力し、図形処理を行う方式。

地形測量⑧

TS点の設置（放射法）92条
1）地形・地物の状況により、基準点にTS、GNSS 装置を設置して細部測量を行うのが困難なときには、TS点を設置することができる。
2）TS点は、基準点にTS等をおき2対回以上測定し、放射法等で設置する。
3）TS点の精度は、次の通りである。

地図情報レベル	水平位置SD	標高SD
500	100mm以内	100mm以内
1000	100mm以内	100mm
2500	200mm	200mm

地形測量⑨

キネマチック法・RTK法によるTS点（93 条）
1）これは基準点にGNSS 測量機を設置し、放射法で行う。
2）観測は干渉測位方式で2セット行う。
3）観測の使用衛星数、較差は次のとおりとする。

使用衛星数	観測回数	データ取得間隔	許容範囲		備考
5個以上	FIX解を得て	1秒（キネマティック	ΔN	20mm	ΔN：南北方向セット間較差

	から 10 エポック以上	は５秒以上）	ΔE		ΔE：東西方向セット間較差
			ΔU	30mm	ΔU：高さ方向セット間較差
摘要	①GLONASSの場合は、使用衛星数6個以上とする。				
	ただし、GPS，GLONASSを2個以上使用する。				
	②GLONASSを用いる場合、同一機種を用いる。				

4）標高は地理院のジオイドモデル 2000 を用いて決定する。

地形測量⑩

ネットワーク型RTK法によるTS点設置（94 条）
1）間接法又は単点観測法による。
2）観測はキネマティック法と同じ。
3）観測の使用衛星数、較差はキネマティック法と同じ。
4）単点観測の場合、作業地域を囲む既知点において観測し、必要に応じて整合を次のように図る。
・整合の基礎となる既知点は、作業地域周辺を囲むように配置する。
・その既知点は、3点以上とする。
・水平の整合処理は次の座標補正を行う。
+平面直角座標で行う。
+その既知点数は3点以上とする。
+その補正手段は適切な方法を採用する。
・高さの整合補正は、次のような標高補正を行う。
+標高を用いる。
+標高の既知点数は3点以上を標準とする。
+標高補正手段は適切な手段で行う。
・座標補正の点検は、座標補正を行った点と作業地域に隣接する点との距離を、座標補正前後で求め、その較差で行う。

点検距離	許容範囲
500m以上	点検距離の 1/10,000
500m未満	50mm

5）標高は国土地理院のジオイドモデル 2000 を用いる。

地形測量⑪

TSによる細部測量（95 条）
1）地形・地物の測定は、基準点、TS点、GNSS 測量機を設置し、測定する。
2）地形・地物の測定精度は、地図情報レベル×0.3mmとし、標高は主曲線間隔の 1/4 とする。
96 条
1）TSによる地形・地物の測定は、基準点、TS点にTS等を設置し、放射法等で測定する。
2）標高は、水準測量で行える。
3）基準点、TS点での地形・地物の測定は次の通りである。

1.**地形**は、**地性線・標高値**を測定し、図形編集装置で等高線描画を行う。
2.**標高点の密度**は、地図情報レベル×4cmの辺長の格子に1点を標準とし、数値はcm単位で表示する。
3.**細部測量**では、地形・地物の測定のほか、編集・編集した図形の点検に必要な資料（測定位置確認資料）を作成する。
4. **測定位置確認資料**は、編集時に必要となる地名、建物等の名称の他、取得したデータの結線のための情報とし、次の方法で作成する。
イ現地において図形編集装置に地名、建物の名称、結線情報等を入力する方法
ロ写真等で現況を記録する方法
4）取得した数値地形図データについて編集後に重要事項を確認し、必要部分を現地において測定する。
5）測定した座標値には、その属性を示す分類コードをつける。
6）分類コードは、数値地形図データ取得分類基準を標準とする。
7）地形・地物の測定終了後に、データ解析システムにデータを転送し、計算機の画面上で編集・点検を行う。
8）地形地物の測定は、次の標準による。

地図情報レベル	機器	水平角対回数	距離測定回数	測定距離の許容範囲
500以下	2級TS	0.5	1	150m
	3級TS	0.5	1	100m
1000 以上	2級TS	0.5	1	200m
	3級TS	0.5	1	150m
備考	ノンプリズムTS（2級測距儀）が使用できる。			

地形測量⑫

キネマティック法/RTK法による地形・地物の測定
1）これは、基準点、TS点にGNSS 測量機を設置し、放射法による。（97 条）
2）これには，96 条の規定 2）～7）を準用する。
3）観測は、干渉測位方式により 1 セット行い、次の表による。

使用衛星数	観測回数	データ取得間隔
5 以上	FIX解を得てから 10 エポック以上	1秒（キネマティックは5秒以下）
摘要	①GLONASS衛星の場合、使用衛星数は6個以上とする。	
	ただし、GPS衛星を2個以上使用する。	
	②GLONASSの場合、同一メーカーの同一機種を用いる。	

4）初期化を行う観測点では、次のように観測値の点検を行い、次の点に移動する。

点検のため 1 セットの観測を行う。観測は、観測位置が明確な標杭で行う。
1セット観測終了後に再初期化を行い、2 セット目の観測を行う。再初期化した2セット目の観測値を採用値として観測を継続する。
2セットの観測による点検に代えて、既知点で 1 セットの観測により点検できる。
5)許容範囲は、次に示す値を標準とする。

項目		許容範囲	備考
セット間較差	ΔN	20mm	ΔN:南北方向のセット間較差
	ΔE		ΔE:東西方向のセット間較差
	ΔU	30mm	ΔU:高さ方向のセット間較差
			ただし、平面直角座標値で比較できる。

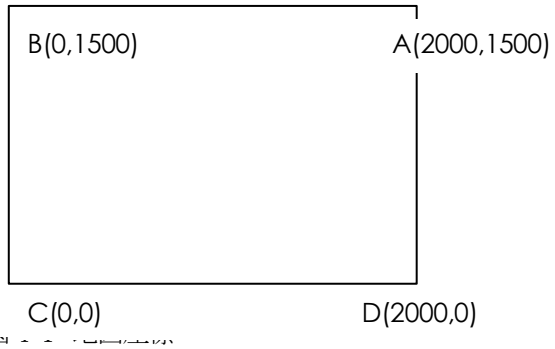
6)観測の途中で再初期化する場合、上の 4)の規定による。
7)標高は、国土地理院のジオイドモデル 2000 による。

地形測量⑬

ネットワーク型RTK法による地形・地物の測定(98 条)
1)これは、間接観測法/単点観測法で行う。
2)これは、上の 96 条 2)～7)を準用する。
3)観測は、干渉測位により 1 セット行い、観測及び許容範囲は 97 条 3)～6)を準用する。
4)単点観測法の場合に作業地域の既知点との整合を図る場合、94 条 4)を準用する。
5)標高を求める場合、国土地理院のジオイドモデル 2000 によりジオイド高を補正して求める。

地形測量⑭

アフィン変換



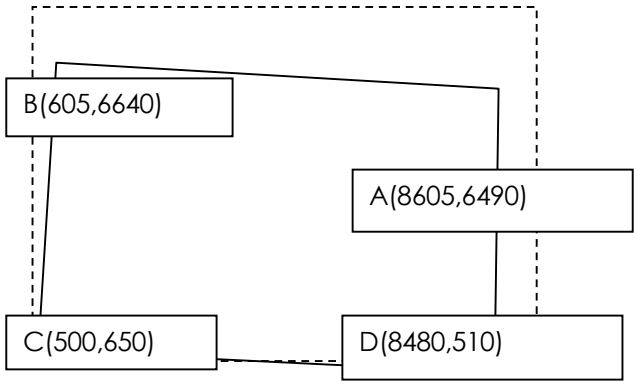


図 4-2 地図の CRT 上の座標

Helmert 変換式

$$\left.\begin{aligned} X &= \cos\theta\, x - \sin\theta\, y + c \\ Y &= \sin\theta\, x + \cos\theta\, y + d \end{aligned}\right\} \cdots \text{式 4-1}$$

残差式にすると

$$\left.\begin{aligned} v_X &= xa + yb + c - X \\ v_y &= ya - xb + d - Y \end{aligned}\right\}$$

X,Y:測地座標
x,y:CRT 上の計測座標
上の座標で観測方程式 V=AX-f を立てると

$$\begin{pmatrix} v_{AX} \\ v_{AY} \\ v_{BX} \\ v_{BY} \\ v_{CX} \\ v_{CY} \\ v_{DX} \\ v_{DY} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8605 & 6490 & 1 & 0 \\ 6490 & -8605 & 0 & 1 \\ ア & 6640 & 1 & 0 \\ 6640 & -605 & 0 & 1 \\ 500 & 650 & 1 & 0 \\ 650 & イ & 0 & 1 \\ 8480 & 510 & 1 & 0 \\ 510 & ウ & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2000 \\ 1500 \\ 0 \\ エ \\ 0 \\ 0 \\ 2000 \\ 0 \end{pmatrix}$$

値を代入すると

$$\begin{pmatrix} v_{AX} \\ v_{AY} \\ v_{BX} \\ v_{BY} \\ v_{CX} \\ v_{CY} \\ v_{DX} \\ v_{DY} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8605 & 6490 & 1 & 0 \\ 6490 & -8605 & 0 & 1 \\ 605 & 6640 & 1 & 0 \\ 6640 & -605 & 0 & 1 \\ 500 & 650 & 1 & 0 \\ 650 & -500 & 0 & 1 \\ 8480 & 510 & 1 & 0 \\ 510 & -8480 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2000 \\ 1500 \\ 0 \\ 1500 \\ 0 \\ 0 \\ 2000 \\ 0 \end{pmatrix}$$

(正規方程式)

$$A^T AX = A^T f$$

又は

$$NX = F$$

より

$$\begin{bmatrix} \sum x^2 + \sum y^2 & 0 & \sum x & \sum y \\ 0 & \sum x^2 + \sum y^2 & \sum y & -\sum x \\ \sum x & \sum y & 4 & 0 \\ \sum y & -\sum x & 0 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \sum xX + yY \\ \sum yX - xY \\ \sum X \\ \sum Y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 233464750 & 0 & 18190 & 14290 \\ 0 & 233464750 & 14290 & -18190 \\ 18190 & 14290 & 4 & 0 \\ 14290 & -18190 & 0 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 53865000 \\ 185000 \\ 4000 \\ 3000 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.25034 \\ -0.0046392 \\ -121.84 \\ -165.43 \end{bmatrix}$$

vAx=8605(0.25034)+6490(−0.0046392)−121.84−2000=2.227
vAy=6490(0.25034)−8605(−0.0046392)−165.43−1500=−0.803
vBx=605(0.25034)+6640(−0.0046392)−121.84=−1.188
vBy=6640(0.25034)−605(−0.0046392)−165.43−1500=−0.366
vCx=500(0.25034)+650(−0.0046392)−121.84=0.314
vCy=650(0.25034)−500(−0.0046392)−165.43=−0.389
vDx=8480(0.25034)+510(-0.0046392)-121.84-2000=-1.322
vDy=510(0.25034)-8480(-0.0046392)-165.43=1.583

地形測量⑮

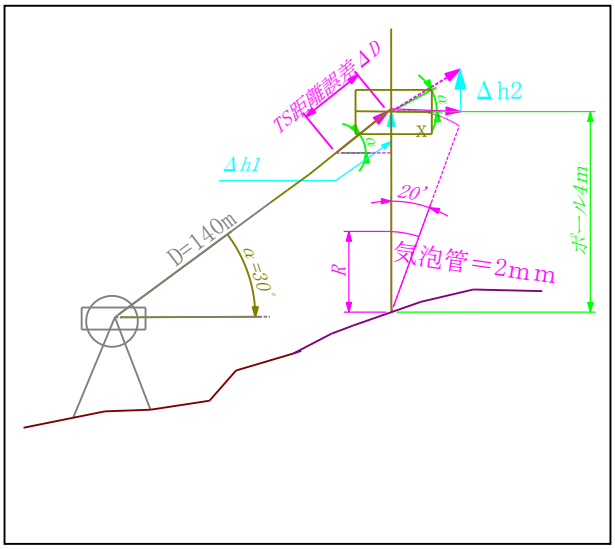
[No.15]≪数値地形測量 14≫

トータルステーション(TS)と、長さ 4mの反射鏡付ポールを用いて放射法により標高を求めたい。このとき反射鏡付ポールの水準器の気泡のずれの許容範囲を最大 1 目盛(2mm)までとして観測を行い、測定距離 140m、高低角 30° を得た。この観測における標高の誤差は最大いくらか。最も近いものを次の中から選べ。

ただし、水準器の感度は 1 目盛当たり 20’、角度 1 ラジアンは 2″ ×10^5、TS の距離測定誤差は 5mm+5×10^{-6}D(D は測定距離)とし、その他の誤差は考えなくてもの良いものとする。
なお関数の数値が必要な場合、巻末の関数表を使用すること。

1. 16.7mm
2. 18.8mm
3. 20.4mm
4. 24.1mm
5. 25.4mm

(解説)



この問題は偶然誤差の概念で解くと失敗します。定誤差で処理します。
TS による光波の距離誤差とポールの傾きによる定誤差の 2 つを考える。
距離測定 D=140m における距離誤差
$\Delta D = 5mm + 5 \times 10^{-6}(140m) = 5mm + 0.7mm = 5.7mm$
$\Delta D^2 = (5mm)^2 + (0.7mm)^2 = 25.49mm^2$
$\Delta D = 5.05mm$が正しい。
これに対する標高誤差は $\Delta h_1 = \Delta D \sin\alpha = 5.7mm(5.05mm) \times \sin 30° = 2.85(2.52)mm$ …①
で表される。
反射鏡ポールの気泡管感度 20’は、気泡管の 1 目盛ℓ=2mm に相当するので、
$\ell = R\theta$ …②
といえる。R は気泡管の曲率半径である。θ をラジアンにすると

$$\theta = 20' = \frac{20 \times 60''}{2'' \times 10^5} = 0.006(rad)$$

$$R = \frac{\ell}{\theta} = \frac{2mm}{0.006} = 333.3mm$$

4m ポールが θ 傾いたときの水平誤差xは、

$$x = 4m \times \tan 20' \approx 4m \times \frac{20 \times 60''}{2'' \times 10^5} = 4m \times 0.006$$

$$= 24.0mm$$

∴そのときの高さの誤差は、xtan α で表されるので、トータルでは

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

$$= \Delta D\sin\alpha + x\tan\alpha$$
$$= 5.7(5.05)\text{mm} \cdot \sin 30° + 24.0\text{mm} \cdot \tan 30°$$
$$= 16.71(16.38)\text{mm}$$

解答　1(解答なしになる)
（平成 28 年以降は(　)内で解答する方がよい。）

測量士

〔No.12〕写真測量

写真測量①

空中写真撮影縮尺と図化縮尺

図化縮尺	撮影縮尺	図化倍率
1/500	1/3,000～1/4,000	1:6～1:8
1/1,000	1/6,000～1/8,000	1:6～1:8
1/2,500	1/10,000～1/12,500	1:4～1:5
1/5,000	1/20,000～1/25,000	1:4～1:5
1/10,000	1/30,000	1:3

撮影縮尺を標準の 80%を限度として
小さくできる
FMC装置付き航空カメラを使用する場合
(対地速度とシャッター速度に起因する像のぶれ補正機構)
図化作業に解析図化機，デジタルステレオ図化機を使用し，航空カメラ，フィルム等に起因する歪みを計算補正する場合

空中写真撮影縮尺と地図情報レベル

地図情報レベル	撮影縮尺	図化倍率
500	1/3,000～1/4,000	1:6～1:8
1,000	1/6,000～1/8,000	1:6～1:8
2,500	1/10,000～1/12,500	1:4～1:5
5,000	1/20,000～1/25,000	1:4～1:5
10,000	1/30,000	1:3

写真測量②

デジタル航空カメラで撮影する数値写真の地**上画素寸法と地図情報レベルとの関係**

地図情報レベル	地上画素寸法
500	90mm～120mm×2B[m]÷H[m]
1,000	180mm～240mm×3B[m]÷H[m]
2,500	300mm～375mm×4B[m]÷H[m]
5,000	600mm～750mm×5B[m]÷H[m]
10,000	900mm～　　×6B[m]÷H[m]

写真測量③

写真縮尺:$\frac{1}{m_b}=\frac{f}{H}=\frac{\ell}{L}$

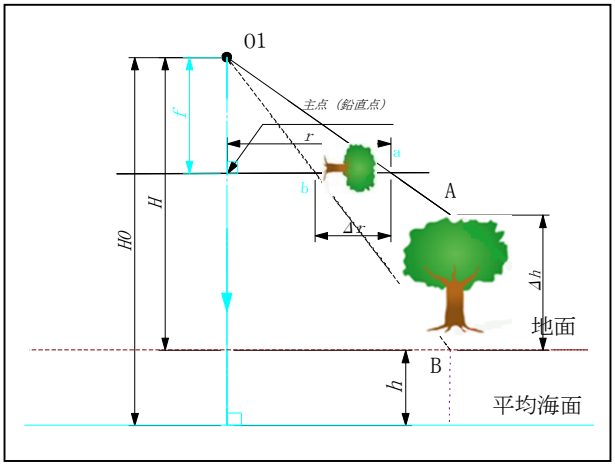
f:カメラの焦点距離
H:対地高度
ℓ:写真上の長さ
L:地上の実距離

標高 h での写真縮尺:$\frac{1}{m_b}=\frac{f}{H_o-h}$

Ho:海抜撮影高度
h:土地の標高

比高による像のずれ:$\boldsymbol{\Delta r=r\cdot\Delta h/H}$

Δr:像のずれ
r:主点(鉛直点)から像の頂までの長さ
Δh:高低差(比高)
H:対地高度



(例:平成 23 年士)
H_0=2,150m、Δh=50mの高塔の像はΔr=1.3mm、主点から高塔の先端までの距離r=51.2mm、高塔の地点の標高hは次の通り求められる。

$$\Delta r/r=\Delta h/H$$

$$H=r/\Delta r\times\Delta h=\frac{51.2}{1.3}\times 50=1{,}969\text{m}$$

$$\therefore h=H_0-H=2{,}150-1{,}969=181\text{m}$$

写真測量④

オーバーラップ p(=0.6=60%):

$$p=\frac{s-b}{s}=\frac{S-B}{S}$$

変化したオーバーラップと高度差の関係

$$H(1-p)=H'(1-p')$$

ここで

s×s:写真の大きさ
S×S:s×s の実際に大きさ(S=s×mb)
b:主点基線長
B:空中基線長(B=b×mb)
H':オーバーラップが p'に変化したときの対地高度

主点基線長:$b = s(1-p)$
空中基線長 B=S(1−p)=s×m_b(1−p)
サイドラップ q(=0.3=30%):

$$q = \frac{s-w}{s} = \frac{S-W}{S}$$

変化したサイドラップと高度差の関係

$$H(1-q) = H'(1-q')$$

H':サイドラップが q'になったときの対地高度
コース間隔:$w = s(1-q)$
W=S(1−q)=s×m_b(1−q)

写真測量⑤

撮影基線長:$B = b \cdot m_b = s(1-p) \cdot m_b$
コース間隔:$W = w \cdot m_b = s(1-q) \cdot m_b$
1コース当たりの写真枚数:

$$N = \left[\frac{X(km)}{B(km)}\right] + 1(+2)$$

コース数:$C = \left[\frac{Y(km)}{W(km)}\right]$

X=東西距離(km), Y=南北距離(km)
撮影基準面より標高が高くなると:
縮尺が大きくなる
オーバーラップが小さくなる
地点が高くなると、画像点は外側に、地点が低くなると画像は内側にひずむ

写真⑥(例:平成 23 年士)撮影基準面サイドラップ
h=1,000m(撮影基準面)～700mまで変化する土地の撮影でサイドラップがq=25%以下にならないようにする。カメラの画面サイズs×s=23cm×23cm、画面距離f=15cm、撮影基準面での写真縮尺$1/m_b = 1/15{,}000$とする。

$$H = f \times m_b = 15cm \times 15{,}000 = 2{,}250m$$

海抜撮影高度$H_0 = H + h = 2{,}250 + 100 = 2{,}350m$
h'=700m での撮影高度$H' = H_0 - h' = 1{,}650m$

$$1/m_b' = 15cm/1{,}650m = 1/11{,}000$$

写真上のコース間隔

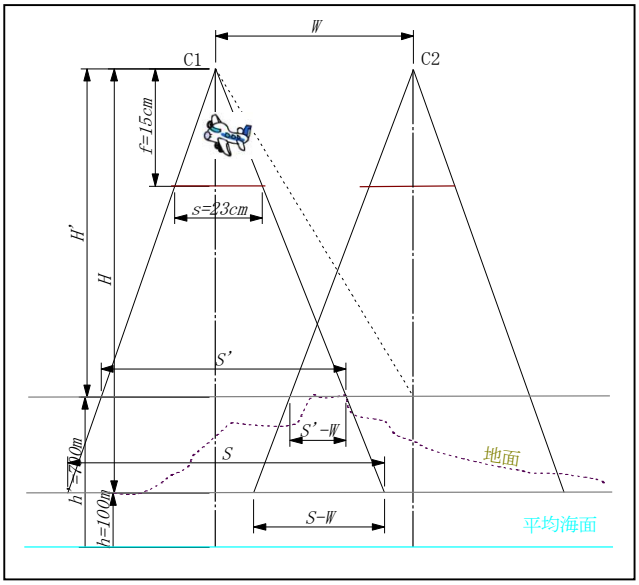
$$w = s(1-q) = 23cm(1-0.25) = 17.25cm$$

コース間隔

$$W = w \times m_b' = 17.25cm \times 11{,}000 = 1{,}897.5m$$

撮影基準面でのサイドラップq'
写真の一辺の地上寸法$S = s \times m_b = 23cm \times 15{,}000 = 3{,}450m$

$$q' = 1 - W/S = 1 - 1{,}897.5/3{,}450 = 0.45(45\%)$$



写真測量⑦

(例題:デジタル航空カメラでの撮影計画)
B 市では、中心部に当たる東西 14km、南北 11km の平坦な地域について、次の撮影条件で、公共測量により、デジタル航空カメラを用いた鉛直空中写真の撮影を行うこととした。
(撮影条件)
デジタル航空カメラの性能は画面距離 12cm、画像サイズ縦 13,824 画素×横 7,680 画素、撮像面での画素寸法 12μm とし、航空機は画面横方向へ進行する。
撮影高度は一定とし、撮影基準面は 100m とする。
撮影基準面における隣接撮影コース間の空中写真の重複度を 30%、同一コース間の隣接空中写真間の重複度を60%とする。
空中写真の中心部における地上画素寸法は撮影基準面で 20cmとする。
撮影コースは東西とする。
各撮影コースの両端は、撮影区域外に各1モデル分撮影する。
南北両端の撮影コースでは、撮影区域外を画面の大きさの 20%以上含むように撮影する。
(撮影高度)

$$\frac{1}{m_b} = \frac{12\mu m}{20cm} = \frac{1}{16{,}667}$$

$$H = f \times m_p = 12cm \times 16{,}667 = 2{,}000m$$

海抜撮影高度$H_o = H + h = 2000 + 100 = 2{,}100m$
(最小撮影コース)

$w = sy(1-q) = 0.012\text{mm} \times 13{,}824(1-0.3) = 116.1\text{mm}$
$W = w \times m_b = 116.1\text{mm} \times 16{,}667 = 1{,}935\text{m}$

$C = \left[\frac{\text{南北高さ}}{W}\right] = \left[\frac{11\text{km}}{1.935\text{km}}\right] = 5.7 = 6$ コース

(最小写真枚数)

$b = s_x(1-p) = 0.012\text{mm} \times 7680(1-0.6) = 36.8\text{mm}$
$B = b \times m_b = 36.8\text{mm} \times 16{,}667 = 613.3\text{m}$

$n_{p/c} = \left[\frac{\text{コース幅}}{B\text{km}}\right] + 3 = \left[\frac{14\text{km}}{0.6133\text{km}}\right] + 3 = 22.8 + 3 = 26$ 枚 / コース

全写真枚数$n_p = n_{p/c} \times C = 26 \times 6 = 156$ 枚

(南北の余裕率)
(南北の余り) $2\Delta Y = W(\text{m}) \times C(\text{コース}) - 11\text{km}$
$= 1{,}935 \times 6 - 11{,}000 = 610\text{m}$
(南北の余りの半分) $\Delta Y = 305\text{m}$
(画面の南北方向の実長)
$= 0.012\text{mm} \times 13{,}824 \times 16{,}667 = 2{,}764\text{m}$
(画面の南北方向の実長の 15%)
$= 2{,}764 \times 15\% = 414.6\text{m}$
(南北の余裕率) $= (305+414.6)/2764$
$= 0.260\ (=26.0\%)$

写真測量⑧

視差々 : $\Delta p = P_A - P_B$
$f/H_B = p_B/B$、$f/H_A = p_A/B$ より
A:木の頂上、B:地面
木の高さ $\Delta h = H_B - H_A$

$$= \frac{B \cdot f}{p_B} - \frac{B \cdot f}{p_A}$$
$$= \frac{B \cdot f(p_A - p_B)}{p_A p_B}$$

視差差より高低差を求める

$\Delta h = H_B \frac{\Delta p}{p_B + \Delta p}$ …①

又は

$\Delta h = H_B \frac{\Delta p}{b + \Delta p}$ …②

ここで、点 B の視差は主点基線長 b に等しい。
近似式(比高)

式②を次のように変形する。

$$\Delta h = \frac{H \times \Delta p}{b + \Delta p} = \frac{H \times \Delta p}{b\left(1 + \frac{\Delta p}{b}\right)} = \frac{H \times \Delta p}{b}\left(1 + \frac{\Delta p}{b}\right)^{-1} \quad \cdots ③$$

展開式にすると

$$\Delta h \approx \frac{H \times \Delta p}{b} + \left(\frac{\Delta p}{b}\right)^2 H \quad \cdots ④$$

(近似式) $\Delta h \ll 0.03H$ ならば、次の近似式⑤により 1/1,000 の精度で高低差が求められる。(これを以下に証明しておく。)

$$\Delta h' \approx \left(\frac{H}{b}\right)\Delta p = \frac{H}{\left(B/m_p\right)} = \frac{m_p}{\left(B/H\right)}\Delta p \quad \cdots ⑤$$

$$:\Delta h = {}^{1}/_{\left(B/H\right)} \times \left(\frac{H}{f}\right) \times \Delta p \quad \cdots ⑤'$$

p_A:A 点視差

p_B:B 点視差

上の 2 つの式④と⑤の差が高さの誤差を示すので、

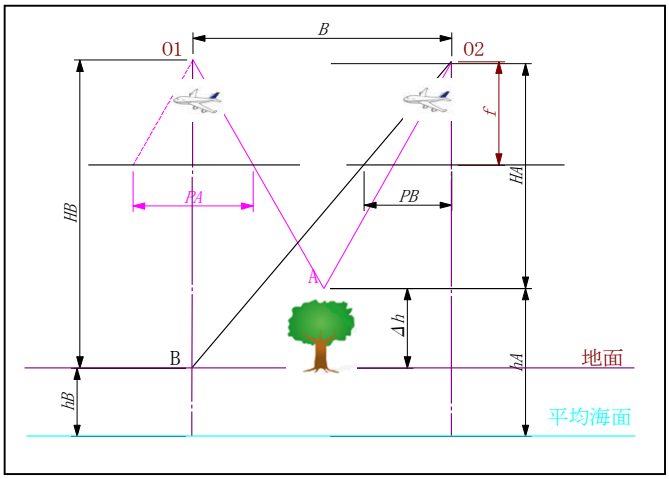
$$\left(\frac{\Delta p}{b}\right)^2 H = \left(\frac{\Delta p}{b} H\right)\left(\frac{\Delta p}{b}\right) = \Delta h\left(\frac{\Delta h}{H}\right) = \frac{\Delta h^2}{H} \quad \cdots ⑥$$

そこで、この式を H で割ると高さの精度を表し、これが 1‰ =0.1%で測定されるとすると、

$$(\sigma_H/H)^2 = \left({}^{\Delta h}/_{H}\right)^2 = 1‰ = 0.001 \cdots ⑦$$

または

$$\therefore {}^{\sigma_H}/_{H} = {}^{\Delta h}/_{H} = 0.03 \quad \cdots ⑧$$



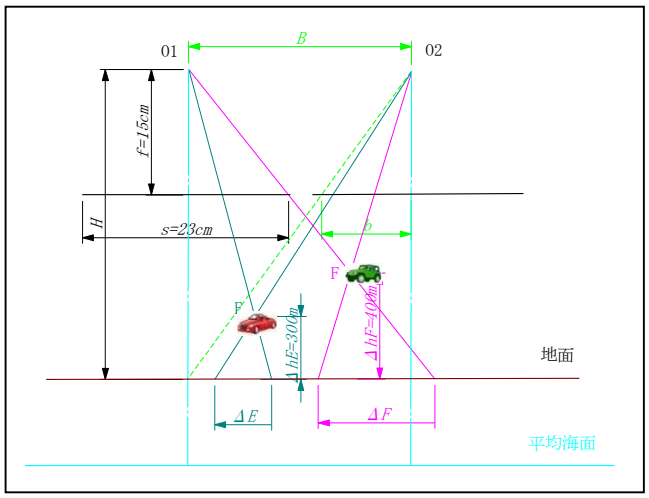
写真測量⑨

カメロン効果(2011 年で終わり)

ステレオ写真撮影の際, 飛行機の進行方向に対して, 船や自動車が基線方向に移動するとき、これが見かけの視

差となって，船や自動車が浮いたり沈んだりして見える現象を，カメロン効果という。

(例)f=15cm，s×s=23cm×23cm，p=60%，平坦地の空中写真において，2 台の自動車 E,F の浮いて見える高さは地上からそれぞれ 300m，400mと測定された。2 枚の写真の撮影間隔は 23 秒，自動車 E の平均速度は 36km/h のとき，自動車 F の平均速度はいくらか。



(解答)

主点基線長$b = s(1-p) = 92mm$

基線比$\frac{B}{H} = \frac{b}{f} = \frac{92}{150}$

E の移動量$\Delta E = v\,m/s \cdot t = \frac{10m}{s} \times 23s = 230m$

$$\frac{\Delta h_E}{\Delta E} = \frac{H - \Delta h_E}{B} = \frac{300m}{230m} = \frac{30}{23}$$

$$\frac{H}{B} - \frac{\Delta h_E}{B} = \frac{30}{23}$$

$$\frac{150}{92} - \frac{300}{B} = \frac{30}{23}$$

$$\frac{300}{B} = \frac{150}{92} - \frac{30}{23} = \frac{690}{2116}$$

$$B = 920m$$

$\frac{B}{H} = \frac{92}{150}$より

$$H = \frac{150}{92}B = \frac{150}{92} \times 920m = 1500m$$

Fの移動量

$\frac{\Delta h_F}{\Delta F} = \frac{H-\Delta h_F}{B}$より

$$\frac{400m}{\Delta F} = \frac{1500m - 400m}{920m} = \frac{110}{92}$$

$$\Delta F = \frac{92}{110} \times 400 = 334.5m$$

自動車Fの速度$v\,m/s = \frac{334.5m}{23s} = 14.5\,m/s$

$$V = 14.5 \times 3.6 = 52.4\,{}^{km}/_{h}$$

解答　52.4km/h

写真測量⑩

イメージのぶれの量

$$\Delta s = v_g \cdot \Delta t \frac{f}{H}$$

Vg=飛行機の速度(m/sec)

Δt:カメラのシャッター速度(sec)

1/mb=f/H(写真縮尺)

写真測量⑪

空中写真測量の高さの精度

(例)図化縮尺 1/1000、等高線間隔 1m、写真縮尺 1/8000、カメラの焦点距離f＝105mm、画面の大きさ sx×sy＝11500×7500 画素、1画素＝9μm、オーバーラップ p=60%とすれば、高さの精度は

$$\sigma_H = \frac{m_b}{({}^{B}/_{H})} \times \frac{\sigma_p}{2}$$

より、$b = s_x(1-p) = 11500 \times 0.009mm(1-0.6)$
=41.4mm，撮影基線長$B = b \times m_b = 41.4 \times 8000 = 331.2m, H = f \times m_b = 105mm \times 8000 = 840m$なので、高さの誤差は

$$\sigma_H = \frac{8{,}000}{({}^{331.2}/_{840})} \times \frac{0.009}{2} = 91mm$$

となる。

(註)デジタル航空カメラでは、1/2 画素の精度まで信頼できるとする。

写真測量⑫

1グラード(g)=90°/100ᵍ=0.9°

- $1^{cg}=1^{g}/100=0.009^{\circ}$
- $1^{cc}=1^{cg}/100=0.00009^{\circ}$

（100 進法の角は“グラッド”，GON ともいわれる）

写真測量⑬

写真測量の工程(準則 108 条)
①作業計画
②標定点の設置
③対空標識の設置
④撮影
⑤刺針
⑥現地調査
⑦空中三角測量
⑧数値図化
⑨数値編集
⑩補測編集
⑪数値地形図データファイルの作成
⑫品質評価
⑬成果等の整理

写真測量⑭

デジタル写真測量の工程(1)
①標定点測量(最小)
②対空標識設置
③撮影(デジタルカメラと POS 装置)
④現地調査
⑤同時調整
⑥デジタルステレオ図化機で数値図化
⑦数値編集
⑧現地補測
⑨DM 作成

デジタル写真測量の工程(2)
1. 標定点測量
2. 対空標識設置
3. 撮影(DC と POS 装置)
4. 同時調整
5. 自動相関による DEM 構築
6. オルソ画像作成
7. オルソモザイクの作成

写真測量⑮

（撮影計画）
①地形等の状況により、実体空白部を生じないようにする
②撮影コースは基準点の配置を考慮する
③同一コースは直線、等高度で撮影する
④オーバーラップは 60%、サイドラップは 30%を標準とする。ただし、地形の状況によってそれぞれ増加させることができる
⑤コースの両端には、1モデル以上撮影する
⑥場合によっては、撮影基準面は複数設けることができる
⑦フィルムカメラの場合、対地高度は撮影縮尺と画面距離で計算する。海抜撮影高度は対地高度に撮影基準面標高（平均標高）を加える
⑧デジタルカメラを用いる場合には、対地高度は地上画素寸法、素子画素寸法と画面距離から求める。海抜撮影高度は対地高度に撮影基準面標高（平均標高）を加える
⑨POS（GNSS/IMU）による撮影では、次の条件を顧慮する。
1）必要な精度が得られる対象区域から GNSS 基準局までの距離
2）GNSS の数と配置
3）キネマティック GNSS 解析のための整数バイアスの適正な決定
⑩POS 撮影の場合のキネマティック GNSS 解析の整数値バイアスの決定は、GNSS 基準局と対象地域の基線距離を考慮し、地上初期化方式と空中初期化方式から選択する。
⑪IMU 初期化飛行は、撮影の開始コース、終了コース、撮影基準面が異なるコースを考慮し行う
⑫撮影コース長は IMU の蓄積誤差を顧慮しておおむね15分以内とする
⑬GNSS 基準局は、対象区域との基線距離を 50km以内とする。やむを得ない場合でも 70kmを超えないものとし、POS 装置の位置をキネマティック GNSS で決める
⑭GNSS 基準局には、電子基準点を使用することができる
⑮新たに GNSS 基準局を設置する場合には、1級基準点測量・3級水準測量に準ずる測量によって、水平位置と標高を決める
⑯GNSS 基準局の設置は次の事項を考慮する
1）上空視界の確保・データ取得の有無
2）受信アンテナの固定の確保
⑰空中写真の数値化を行う場合の計画は、撮影された空中写真の土地被服、撮影時期、天候、撮影コースと太陽位置との関係等と使用するデジタル図化機及び数値編集で用いる図形編集装置並びにモデルごとの数値図化範囲等を考慮する

写真測量⑯

（撮影時期）
1. 撮影は、撮影に適した時期で、気象条件が良好な時期に行う。
2. POS 撮影は GNSS 衛星の配置が良好な場合に行う
3. 撮影時の GNSS 衛星の個数は5個以上とする

写真測量⑰（撮影飛行）

1. 撮影飛行は水平とし、計画撮影高度と計画撮影コースを保持する
2. POS 撮影では、撮影前後に整数値バイアス決定及び IMU ドリフト初期化のための飛行を行う
3. 計画撮影高度(H)のずれは 5%H 以内とする。ただし、フィルムカメラ使用の場合で撮影縮尺 1/4,000 以上のとき、または地図情報レベル 500 以上のためのデジタル航空カメラによる撮影の場合は 10%H 以内とする
4. 航空カメラの傾きは、鉛直方向とし、大幅な傾きのないものとする
5. POS 撮影の場合の等速直線飛行は、進入を含めておおむね 15 分以内とし、これを超える場合には適宜 IMU 初期化飛行を実施する
6. 地上で初期化する場合、航空機を GNSS 受信波のマルチパスとなる反射源から離して駐機する

（露出時間）
航空カメラの露出時間は、飛行速度、使用フィルム（撮像素子）、フィルター、計画撮影高度等を考慮して、適切に行う。

（航空カメラの使用）
1. 同一地域の撮影は、同一カメラで行う。
2. やむを得ない場合、同一コースは同一カメラで撮影する
3. 空中写真に写し込む記録板には、撮影地区名、計画撮影高度・撮影年月日を明瞭に記録する

（空中写真の重複度）
1. 空中写真の重複度は、撮影計画に基づいた適切な値になるようにする
2. **オーバーラップは最小 53%**とする
3. **サイドラップは最小 10%**とする

（POS データの取得）
1. POS 撮影では、GNSS 基準局の GNSS 観測データ、航空機搭載の GNSS 観測データ・IMU 観測データを取得する
2. GNSS 基準局の GNSS 観測データ間隔は 30 秒以下とする
3. 航空機搭載の GNSS 観測データ間隔は、1秒以下とする
4. 航空機搭載の POS は、撮影の前後に連続して5分以上の観測を実施する

写真測量⑱

○図化機での標定
1. 内部標定
　焦点距離、主点位置、レンズ収差
2. 相互標定
　パスポイントによる対応光線の交会
3. 絶対標定（対地標定）
空中三角測量の成果の利用

写真測量⑲

○ブロック調整
1) セルフキャリブレーションなしバンドル法：内部標定，写真座標
2) 独立モデル法：相互標定，モデル座標
3) 多項式法：接続標定，コース座標
精度，計算量，誤差検出の難易度：
多項式＜独立モデル＜セルフキャリブレーションなしバンドル法

写真測量⑳

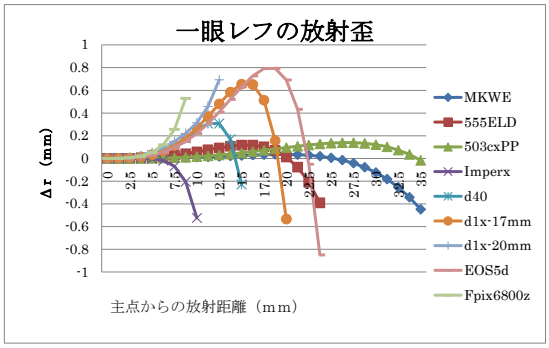
（レンズ収差の補正）

$$x' = x + \delta x + \Delta x = x + \bar{x}(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \cdots) + \left[P_1\left(r^2 + 2\bar{x}^2\right) + 2P_2\bar{x}\bar{y}\right][1 + P_3 r^2 + \cdots]$$

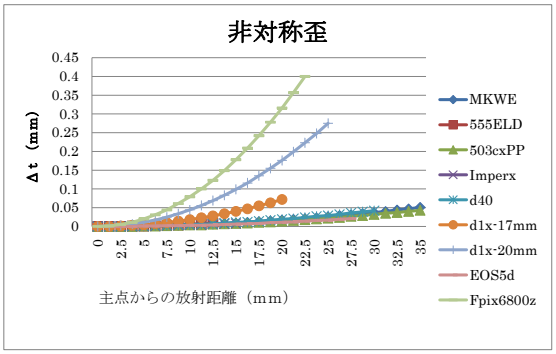
$$y' = y + \delta y + \Delta y = y + \bar{y}(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \cdots) + \left[P_2\left(r^2 + 2\bar{y}^2\right) + 2P_1\bar{x}\bar{y}\right][1 + P_3 r^2 + \cdots]$$

ここで，$\bar{x} = x - x_o$ ，$\bar{y} = y - y_o$ ，$r = [(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2]^{1/2}$
であり、K_1, K_2, K_3は半径歪の係数、P_1, P_2, P_3は接線歪の係数である。

（一眼レフの放射歪）



（接線歪）



（内部標定）

$$\left.\begin{aligned} x_k &= x_f \cdot \cos\theta + y_f \cdot \sin\theta + x_o \\ y_k &= -x_f \cdot \sin\theta + y_f \cdot \cos\theta + y_o \end{aligned}\right\}$$

または

$$\left.\begin{aligned} x_k &= a \cdot x_f + b \cdot y_f + c \\ y_k &= -b \cdot x_f + a \cdot y_f + d \end{aligned}\right\}$$

（相互標定）

カメラで2地点から撮影したときと同じ光線を再現すれば、ステレオモデルが構築できる。左カメラと右カメラの左右の対光線を交会させる標定を、相互標定といい、解析写真測量では”共面条件”を用いる。共面条件とは、投影中心 O_1、O_2、像点 a_1、a_2 の 4 点が同一平面（図 5.4）に存
在すれば、必ず光線 O_1a_1 と O_2a_2 は点 A で交わるという条件である。5 組の対光線が交われば、相互標定が完成する。

（共面条件）
地上座標系 UVW における点 O_1, O_2, p_1, p_2 を含む空間上の平面方程式を構成し、その不定方程式から次に示す平面の条件が得られる。

$$\begin{vmatrix} U_{o1} & V_{o1} & W_{o1} & 1 \\ U_{o2} & V_{o2} & W_{o2} & 1 \\ U_1 & V_1 & W_1 & 1 \\ U_2 & V_2 & W_2 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

（カメラの回転）

以下には、回転の順序を入れ替えた2種類の回転行列（M）の要素を求めておく。なお、各軸まわりの回転角 M_i は次のとおりとする。

$$M_\varphi = \begin{pmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{pmatrix}$$

$$M_\omega = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix}$$

$$M_\kappa = \begin{pmatrix} \cos\kappa & -\sin\kappa & 0 \\ \sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

（$M_{\varphi\omega\kappa} = M_\varphi M_\omega M_\kappa$ 順： Stereoplanigraph C8 の場合）$M_{\varphi\omega\kappa} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos\varphi \cdot \cos\kappa + \sin\varphi \cdot \sin\omega \cdot \sin\kappa \\ m_{12} &= -\cos\varphi \cdot \sin\kappa + \sin\varphi \cdot \sin\omega \cdot \cos\kappa \\ m_{13} &= \sin\varphi \cdot \cos\omega \\ m_{21} &= \cos\omega \cdot \sin\kappa \\ m_{22} &= \cos\omega \cdot \cos\kappa \\ m_{23} &= -\sin\omega \\ m_{31} &= -\sin\varphi \cdot \cos\kappa + \cos\varphi \cdot \sin\omega \cdot \sin\kappa \\ m_{32} &= \sin\varphi \cdot \sin\kappa + \cos\varphi \cdot \sin\omega \cdot \cos\kappa \\ m_{33} &= \cos\varphi \cdot \cos\omega \end{aligned}$$

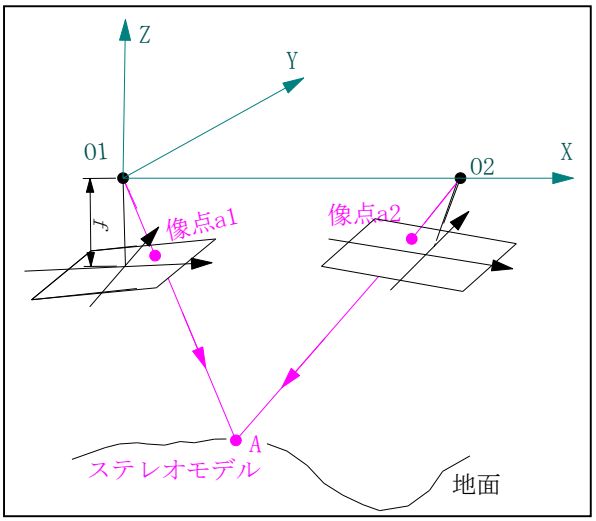
（$M = M_\omega M_\varphi M_\kappa$ 順：WildA7,A8 の場合）

$$M_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos\varphi \cdot \cos\kappa \\ m_{12} &= -\cos\varphi \cdot \sin\kappa \\ m_{13} &= \sin\varphi \\ m_{21} &= \cos\omega \cdot \sin\kappa + \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa \\ m_{22} &= \cos\omega \cdot \cos\kappa - \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa \\ m_{23} &= -\sin\omega \cdot \cos\varphi \\ m_{31} &= \sin\omega \cdot \sin\kappa - \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa \\ m_{32} &= \sin\omega \cdot \cos\kappa + \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa \\ m_{33} &= \cos\omega \cdot \cos\varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= (\cos\varphi_1 \cdot \cos\kappa_1)x_1 + (-\cos\varphi_1.\sin\kappa_1)y_1 + (\sin\varphi_1)(-c) \\ Y_1 &= (\sin\kappa_1)x_1 + (\cos\kappa_1)y_1 \\ Z_1 &= (-\sin\varphi_1 \cdot \cos\kappa_1)x_1 + (\sin\varphi_1 \cdot \sin\kappa_1)y_1 + (\cos\varphi_1)(-c) \end{aligned}$$

（投影中心を結ぶ相互標定）



（共面条件）＝相互標定の条件

$$f=\begin{vmatrix} V_{o1} & W_{o1} & 1 \\ V_1-V_{o1} & W_1-W_{o1} & 0 \\ V_2-V_{o1} & W_1-W_{o1} & 0 \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} Y_1 & Z_1 \\ Y_2 & Z_2 \end{vmatrix}=0$$

左カメラについては、次のように表すことができる。

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}=M_{\varphi 1}\cdot M_{\kappa 1}\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -c \end{pmatrix}$$

上の式を普通の式にすると

右カメラに関しては、次のようになる。

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}=M_{\varphi 2}\cdot M_{\omega 2}\cdot M_{\kappa 2}\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -c \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= (\cos\varphi_2\cdot\cos\kappa_2+\sin\varphi_2\cdot\sin\omega_2\cdot\sin\kappa_2)x_2+\\ &\quad(-\cos\varphi_2\cdot\sin\kappa_2+\sin\varphi_2\cdot\sin\omega_2\cdot\cos\kappa_2)y_2+\\ &\quad(\sin\varphi_2\cdot\cos\omega_2)(-c)+1\\ Y_2 &= (\cos\omega_2\cdot\sin\kappa_2)x_2+(\cos\omega_2\cdot\cos\kappa_2)y_2+\\ &\quad(-\sin\omega_2)(-c)\\ Z_2 &= (-\sin\varphi_2\cdot\cos\kappa_2+\cos\varphi_2\cdot\sin\omega_2\cdot\sin\kappa_2)x_2+\\ &\quad(\sin\varphi_2\cdot\sin\kappa_2+\cos\varphi_2\cdot\sin\omega_2\cdot\cos\kappa_2)y_2+\\ &\quad(\cos\varphi_2\cdot\cos\omega_2)(-c) \end{aligned}$$

通常、上の式で計算した各標定要素は次のように逐次近似で求めていく。

$$\left.\begin{aligned} \kappa_1&=\kappa_1+\delta\kappa_1\\ \varphi_1&=\varphi_1+\delta\varphi_1\\ \kappa_2&=\kappa_2+\delta\kappa_2\\ \varphi_2&=\varphi_2+\delta\varphi_2\\ \omega_2&=\omega_2+\delta\omega_2 \end{aligned}\right\}$$

$$f=\begin{vmatrix} \tilde{Y}_1 & \tilde{Z}_1 \\ \tilde{Y}_2 & \tilde{Z}_2 \end{vmatrix}=$$

$$a_1\cdot\delta\kappa_1+a_2\cdot\delta\varphi_1+a_3\cdot\delta\kappa_2+a_4\cdot\delta\varphi_2+a_5\cdot\delta\omega_2$$

ここで、

$\tilde{Y}_1,\tilde{Y}_2,\tilde{Z}_1,\tilde{Z}_2$：$Y_1,Y_2,Z_1,Z_2$の近似値、

a_i：関数 fの微係数、

m_{ij}^{L}：左カメラの回転行列の要素、

m_{ij}^{R}：右カメラの回転行列の要素

$$f=\begin{vmatrix} \tilde{Y}_1 & \tilde{Z}_1 \\ \tilde{Y}_2 & \tilde{Z}_2 \end{vmatrix}+$$

$$\begin{vmatrix} \tilde{Y}_1\tan\kappa_1-\dfrac{y_1}{\sin\kappa_1} & \tilde{Y}_1\sin\varphi_1 \\ \tilde{Y}_2 & \tilde{Z}_2 \end{vmatrix}\delta\kappa_1+$$

$$\begin{vmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & Y_2 \end{vmatrix}\delta\varphi_1+$$

$$\begin{vmatrix} \tilde{Y}_1 & \tilde{Z}_1 \\ m_{22}^{R}x_2-m_{21}^{R}y_2 & m_{32}^{R}x_2-m_{31}^{R}y_2 \end{vmatrix}\delta\kappa_2$$

$$+\begin{vmatrix} 0 & \tilde{X}_2-1 \\ \tilde{Y}_1 & 0 \end{vmatrix}\delta\varphi_2+\begin{vmatrix} \tilde{Y}_1 & \dfrac{c}{\cos\omega_2}-\tilde{Y}_2\tan\omega_2 \\ \tilde{Z}_1 & \tilde{Y}_2\cos\varphi_2 \end{vmatrix}\delta\omega_2$$

（絶対標定）

モデル座標系(X, Y, Z)と地上座標系(E, N, H)との関係は、次式で表すことができる。

$$\begin{pmatrix} E \\ N \\ H \end{pmatrix}=S\cdot M\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix}$$

写真測量㉑

(POS なしの場合)
標定点の配置
ブロックの各隅
ブロック内に均一に配置する
標高標定点はコースに数路線を直交して配置する

写真測量㉒

解析図化機
指標観測が重要
フィルム伸縮，地球曲率，光屈折の補正
多少傾きの大きなステレオ写真でも可能
アナログ写真を使用

写真測量㉓

○数値図化機*
空中写真を立体視し，三次元座標とその属性をデジタルデータとして取得できる
DMデータ項目等のデータコードの入力が可能
XYZの三次元座標値の記録が可能
線状対象物の連続測定，連続記録が所定の時間間隔，距離間隔で可能
*座標読み取り装置付きアナログ図化機、解析図化機、デジタル図化機を数値図化機という。

写真測量㉔

標定要素
シフトグループ：κ_1, κ_2, b_y ➪必要数2
スケールグループ：$\varphi_1, \varphi_2, b_z$ ➪必要数2
オメガグループ：ω ➪必要数1

写真測量㉕

パスポイント

平坦な場所に選点

３枚の連続写真上で選ぶ

主点付近に1点，主点基線に直角で写真の上辺及び下辺から1cm程度の位置に 1 点ずつ配置

タイポイント
隣接コースに重複して配置

1直線上に配置しない
パスポイントと兼用してよい
解析図化機のコンパレタを使用した密着ポジの点刻は実体視しながら行う(パスポイント，タイポイント共に)
各モデルに 1 点を配置

写真測量㉖

対空標識
対空標識は天頂 45 度以上の視界を確保する
ぶれ補正装置を使用する場合は、撮影縮尺の 80%を限度として小さくしてよい
撮影基準面はコースごとに設定してよい
対空標識は、三角点、GPS(GNSS)点に設置する

写真測量㉗

マップデジタイズ:
既存地図情報を数値化しデジタル地図データを作成する
デジタルマッピング:
空中写真測量等の図化の段階で，解析図化機等を用いて数値化し，デジタル地図データを直接取得する

写真測量㉘

ベクトルデータ:線情報
ラスタデータ:面情報

写真測量㉙

デジタル画像の解像度(DPI)
1000dpi=39.37dpmm→1画素＝0.0254mm、ここで1インチ＝25.4mm
デジタル画像は 0-255 段階の色調をもつ。RGBの3色を合成するとカラーになる。256 段階をもつ画像は8ビット色調画像で，これは2^8で表される。

写真測量㉚

リモートセンシング
可視光線，赤外線，マイクロ波
広域的に標高データを取得できる
時系列に，経年変化を把握できる

写真測量㉛

対空標識の偏心
基準点等に対空標識を設置するのが困難な場合

(地形状況，土地所有者の許可)
基準点周辺の障害物除去が困難な場合(高木・建物，45 °以上の視界)
対空標識が明瞭に写らない可能性のある場合(周囲の色との識別)
対空標識の設置が交通等に支障を与える場合
(道路沿い，住民生活に支障)
偏心要素の測定
既知点法:距離，測定回数，較差が許容範囲内であること
太陽法:太陽高度が 50 °以上の時刻に観測
磁針法:地磁気局所異常がない場所地上1m 以上の高さ地区単位に平均して算出

写真測量㉜

人工衛星の標高精度 =
高度 / 軌道間距離 × 地上分解能

写真測量㉝

特徴
1)特殊な技術・設備が必要
撮影は飛行機・ヘリ・気球・ラジコンヘリな ど
カメラは航空カメラ(フィルム・DMC)，地上写真は非計測用カメラが可能
図化機はパソコンのデジタル図化機
空中三角測量は解析ブロック調整(バンドル法)
測量成果はラスタ，ベクタ(オルソ画像、数値地図)
POS 撮影によれば，対空標識・標定点・空中三角測量が，原則不要
2)作業が能率的・経済的
TS・GNSS による地形測量に比べて効率的・経済 的
一様な精度が得られる
TS・GNSS では単点観測に対し，写真測量のステレオ観測では連続測定なので精度が一定
4)一定以上の精度は得られない
写真測量の精度は写真縮尺・標定点の精度に依存するが，TS・GNSS のような精度は出ない
5)等高線は直接測定される
TS・GNSS では測定点は直接観測に対し，等高線は補間されるので，間接測定である
6)空中写真は長く保存できる
水害・震災・洪水・火災・津波・雪害など災害の記録にもなる
オルソ画像としてそのまま利用できる
地図より多くの情報がオルソ画像から取得できる

写真測量㉞

航空レーザ測量(LiDAR)準則 274 条
航空レーザ測量システムを用いて地形を計測し，格子状の標高データの数値標高モデル(グリッドデータ)の数値地形図データファイルを作成する作業
格子間隔と地図情報レベルの関係

地図情報レベル	格子間隔
1000	1m 以内
2500	2m 以内
5000	5m 以内

写真測量㉟ レーザ測量

(工程別作業区分及び順序)276 条
①作業計画
②GNSS 基準局の設置
③航空レーザ計測
④調整用基準点の設置
⑤三次元計測データ作成
⑥オリジナルデータ作成
⑦グラウンドデータ作成
⑧グリッドデータ作成
⑨等高線データ作成
⑩数値地形図データファイル作成
⑪品質評価
⑫成果等の整理

写真測量㊱

281 条
レーザ測量は GNSS／IMU装置，レーザ測距装置及び解析ソフトウェアから構成する

写真測量㊲

準則 133 条 3 項(GNSS/IMU 解析結果の点検)
キネマティック GNSS 解析時においての点検は，次の各号について行うものとする。
①撮影コース上における最少衛星数
②撮影コース上における DOP(PDOP，HDOP，VDOP)値
③撮影コース上における位置の往復解の差
④撮影コース上における解の品質
⑤撮影コース上における位置の標準偏差の平均値と最大値

写真測量㊳

バンドル調整
①写真毎に未知量を計算する
②多項式法より基準点を減らせる
③多項式より計算量は増加する
④内部標定後の写真座標で調整する

写真測量㊴

リモートセンシングの特徴
①広域性(Landsat:180km×180km)
②同時性(Landsat16日回帰、SPOT26 日)
③時系列性(均一なデータ)
④デジタル(数値情報なのでコンピュータ処理できる)
⑤マルチスペクトルデータ(対象物の分光特性解析)
⑥二次元データ(ステレオもある)

写真測量㊵

各種のセンサー

	高度	バンド	分解能	観測幅
Landsat	705	7	30m	185km
SPOT5	832km	5	10m,2.5,5	60km
IKONOS-1	680	4	0.82,1m	11.3km
Quick B.	650	3	0.61	60km

写真測量㊶

オルソ画像の作成
①高層建物の撮影には超焦点レンズを使用
②高層建物の撮影では像の倒れこみが大きいので，上下左右の写真の重複度を増やす
③高層建物の撮影で像の倒れこみを減らすため，撮影高度を増やす
④高層建物の撮影で，建物の影を減らすため正午に近い時間帯で撮影する
⑤起伏の激しい地形では，ブレークライン法で数値地形モデル(DEM)を作成する

測量士

〔No.13〕地図編集

地図編集①

等高線間隔

縮尺	主曲線	計曲線
1/250	1m	5m
1/500	1m	5m
1/1,000	1m	5m
1/2,500	2m	10m
1/5,000	5m	25m
1/10,000(平地)	2m	10m
1/10,000(山地)	4m	20m
1/25,000	10m	50m
1/50,000	20m	100m
1/200,000	100m	500m
1/500,000	200m	1000m

*地図情報レベルでも同じ

地図編集②

三角点記号

1/25,000	1，2，3，4等三角点
1/50,000	1，2，3等三角点
1/200,000	1，2等三角点

*電子基準点、標高:水準点

地図編集③

図隔の大きさ

縮尺	経度差	緯度差
1/25,000	7'30″	5'
1/50,000	15'	10'
1/200,000	1°	40'

展開誤差

辺長:0.2mm(基準点)

対角線:0.4mm

地図編集④

平面直角座標系

横メルカトル図法	1/250,1/500
	1/1,000 地形図
	1/2,500 国土基本図
	1/5,000 国土基本図
南北適用範囲	N25° ～N45°
1 図葉区画	長方形
投影範囲	日本国土を 19 系に分割
座標原点	X=0，北+，南−
	Y=0，東+，西−
図郭線表示	座標原点からの距離
高さ表示	平均海面からの高さ

縮尺係数:

ykm	縮尺係数
原点	0.9999
中央子午線より 90km	1.0000
130km	1.0001

区画実面積(1図葉の)

	横(km)	縦(km)	面積(k ㎡)
1/2,500	2	1.5	3
1/5,000	4	3	12

地図編集⑤

UTM座標系

ユニバーサル横メルカトル図法	1/25,000 の地形図
	1/50,000 の地形図
南北適用範囲	S80 °～N84 °
1図葉区画	不等辺四辺形
投影範囲	経度を 6 °の帯に投影
日本の原点	129 °,135 °,141 °,147 °
座標原点	各ゾーンの中央経線と赤道との交点
座標系	縦軸方向 N、横縦軸方向 E
北半球	N=0m,E=500km
南半球	N=10,000km，E=500km

図隔線表示	経度，緯度
高さ表示	平均海面

縮尺係数

Ekm	縮尺係数
原点	0.9996
180km	1.0000
242km	1.0004

区画実面積（1図葉の）

	経度差	緯度差	面積
1/25,000	7’30″	5’	約 100k ㎡
1/50,000	15’	10’	約 400k ㎡

等高線間隔

1/25,000	10m
1/50,000	20m

中央経線に対称

裂目なくつぎ合せ可能（シームレス）

方位角＝方向角－真北方向角

（東は－，西は＋）

地図編集⑥

縮尺係数＝s/S＝平面距離／球面距離

$$\frac{s}{S} = m_o\left\{1 + \frac{1}{6r^2m_o^2}(y_1^2 + y_1y_2 + y_2^2)\right\}$$

$$= m_o\{1 + \frac{1}{8r^2m_o^2}(y_2 + y_1)^2 + \frac{1}{24r^2m_o^2}(y_2 - y_1)^2\}$$

平均半径(中等曲率半径) $r = \sqrt{MN}$

子午線曲率半径$M = \frac{a(1-e^2)}{W^{3/2}}$

卯酉線曲率半径 $N = \frac{a}{W}$

$W = \sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}$

$e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2}$ （e:第一離心率）

ここで、

s:平面距離

S:球面距離(楕円体上の距離)

m_o:原点の縮率

y_1,y_2:距離を求めるための 2 点のy座標

ϕ :2 点の平均緯度

a,b:長半径，短半径

（平面直角座標系の場合 m_o=0.9999，UTM の場合 m_o=0.9996 とする。）

地図編集⑨

転位

水準点，標高点は転位してよい

三角点は転位しない

両方を少しずつ転位する

1方を真位置に転位しない

無形線は転位してよい

有形線は転位しない

人工物は転位してよい

自然物は転位しない

図上 1.2mm まで転位してよい

地図編集⑩

描画順

三角点，河川道路，水準点，建物，

等高線，行政界，植生

地図編集⑪

図法

正角図法:方位と形は正しい，

面積は著しくひずむ

正距図法:経線上の縮尺は正しい

正積図法:形は著しくひずむ

正積図法と正角図法は

同時に満足できない

地図編集⑫

デジタル修正システム

（ラスタデータ）

①予察

②現地調査

③数値編集

④点検用カラー印刷

⑤地形図データ点検
⑥地形図データ送り
⑦校正図出力
⑧製版フィルム出力
⑨PS版作成

地図編集⑬

地図情報レベル 250:縮尺 1/250

地図編集⑭

デジタルマッピング
(利点)
数値地図データが得られ，目的に応じた多様な地図表現が可能である
更新は全面書直しでなく，変化部分の修正だけでよい
三次元的な数値情報が整備され，地図データの利用分野が広がる

(発展)
各施設や都市計画等の基本情報が一元的に管理できる
コンピュータによる地図情報管理に利用でき る
任意条件を与えることで地図関連データの検索，集計，出力が可能である

地図編集⑮

デジタル化
迅速な大量データの処理が可能である
転送されたデータは計算，記憶され，検索，追加，削除，修正，出力等が容易に行える
保管場所が小さくてすむ
用紙が節約できる
地図情報データ取得時の精度が確保され，後続工程で損なわれない
任意に多様な出力が可能である
計画，調査，設計，管理の幅広い分野で利用できる

地図編集⑯

GIS
地理情報システム
国土地理院の整備済データ(行政区域，主要道路，河川，鉄道，施設建物)が基盤となる
車載用ナビ，都市計画，各種行政施策支援、大規模施設管理，学術研究に使用できる
ディジタル数値化した地図原図のラスタデータが基盤情報として必要不可欠である

地図編集⑰

陰影図:
地形(起伏)に光を照射して生じる陰影(明暗)を用いて，立体感を表現した図
(北方向から照射した図が多い)
(特定の方向の標高差によって輝度を変える)
段彩図:
連続する等値線間の区域をいくつかの段階区分し，各段階ごとに異なった色または同色の濃淡で表現した図
(標高値を区分して区分ごとに色を変える)
断面図:
地形等を一定の方向と角度で切断して，その切り口の形状や構成(地質など)を示した図
(断面に沿って標高値をプロットして線で結ぶ)
鳥かん図:
高い視点から地表を斜めに俯瞰した透視図
(標高値により描画位置を移す)
等高線図:
平均海面から高さの等しい，点を結んだ線を平面に示した図
(標高値を区分し境界線を作成)

地図編集⑱

既成図の使用
修正に用いる既成図は，修正する図より新しい図であること

縮尺は，修正する図以上に大きい縮尺であること

基本測量又は公共測量の成果，又はこれと同等以上の精度を有すること

既成図の精度は，これにより取得された修正データが公共測量作業規程に定めている精度を維持できること

座標系は，原則として，平面直角座標系であること

地図編集⑲

取捨選択:

地物や地形等の表現内容を少なくするため，地図の内容を縮尺に応じて省略すること

縮尺に応じて適切に取捨選択し，正確に表示する

永続性のあるものを採用する

重要度の高いものを省略しない

地域的な特徴を持つものに留意

客観的見地で，主観的判断はだめ

○総描:

取捨選択により形状や画線が錯雑して読図が困難になるため，形状を省略、誇張して，形態や特徴を損なわないように編集描画すること

現地の形状と相似性を保たせる

形状の特徴を失わないように

必要に応じて多少の修飾をし，現況を理解しやすく総描する

基図と編集地図の縮小率を考慮

転位:

地物や地形を真形，真位置に表示すると錯雑して読図が困難になるため，肉眼で判読できる記号の大きさや場所に編集すること

地図編集⑳

数値地形図修正

写真測量による修正:広域的
空中写真が必要である
広範囲で均一精度が維持できる
DTM はこの方法で修正可能である
工程
- 作業計画
- 撮影
- 予察
- 修正数値図化
- 現地調査
- 修正数値編集
- DM データファイルの更新
- 地形図修正原図作成
- 成果等の整理

TS 地形測量による修正:局所的
現地作業が大半を占める
高精度な成果が得られる
工程
- 作業計画
- 予察
- 修正数値図化
  - 基準点の設置
  - 修正細部測量
- 修正数値編集
- DM データファイルの更新
- 地形図修正原図作成
- 成果等の整理

既成図を用いる方法による修正
既成図の存在する範囲のみ修正可能
精度は既成図の精度に依存する
天候に左右されない
作図データに限定される
デジタイザ等での計測が必要
工程

作業計画
予察
既成図の収集
修正箇所の抽出
現地調査
修正数値図化
現地調査結果の編集
デジタイザ等による修正
データの取得
修正数値編集
DM データファイルの更新
地形図修正原図作成
成果等の整理

他既成データを用いる方法による修正
他の既成データの存在する範囲のみ修正可能
精度は他の既成データの精度に依存
天候に左右されないで修正データを取　　得できる。
工程
作業計画
予察
修正数値図化
他の既成データの収集
他の既成データの出力図作成
修正箇所の抽出
現地調査
修正数値編集
DM データファイルの更新
地形図修正原図作成
成果等の整理

地図編集㉑

地形データの取得
等高線法:
細部数値図化時に等高線データを取得する
後続作業で必要に応じ，データの間引きが可能
数値地形モデル法(DTM 法)
等高線が密になる地形を対象とする場合に，データ量の軽減を図れる
電子計算機による地形解析等のデータ利用で効果が大きい
一定の格子間隔(グリッド)ごとに高さを測定し，データ取得
変形地，人工物等による不連続部等の特異な場所は，補助データとしてランダム点，ブレークラインにより，高さのデータを取得
マップデジタイズ法
図化機で直接描画された等高線図を
編集し，デジタル化する方法
併用法
等高線法，数値地形モデル法，マップデジタイズ法を併用し，効率的に処理
部分を対象とするデータ更新時において，特に有効

地図編集㉒

編集素図の点検
図式等の適用の良否
編集における地物、地形の収捨選択、総描、転位の良否
隣接図葉間の接合の良否
表示事項の誤描、脱落の有無
表示事項の相互関係の良否
整飾事項の記載の誤描、脱落の有無
画線の線号、,濃度の適否

地図編集㉓

ヘルマート変換により CRT 座標を地図座標に変換する
(1)x,y:ラスター(画像)座標,
紙地図をスキャナーで AD 変換し，パソコンで表示した座標系（y＝−y）
(2)X,Y:紙地図の座標，平面直角座標系の座標又は UTM 座標（ただし，この X,Y において X は原点から東に+，Y は原点から北に+とする。）
(3)観測方程式

$$X = ax + by + c$$
$$Y = ay - bx + d$$

n個の点を代入して，

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 \\ -y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_n & x_n & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix}$$

行列記号で$AX = B$

(4)正規方程式の組成:$A^tWAX = A^tWB$

$$\begin{pmatrix} [x^2 + y^2] & 0 & [x] & -[y] \\ 0 & [x^2 + y^2] & [y] & [x] \\ [x] & [y] & n & 0 \\ -[y] & [x] & 0 & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} [xX - yY] \\ [yX + xY] \\ [X] \\ [Y] \end{pmatrix}$$

又は行列記号で NX=F と書く。

(5)正規方程式の解は:$N^{-1}NX = N^{-1}F$

又は$X = N^{-1}F$で解ける。

(6)補正値の計算:$V = AX - f$

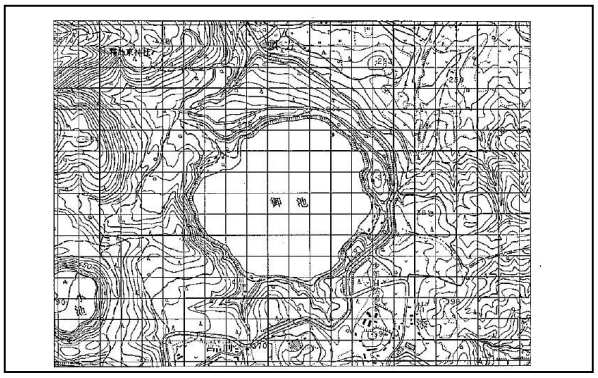
(7)パラメータ X の精度:$V_X = \sigma_0^2 N^{-1}$

不偏分散$\sigma_0^2 = \frac{v^t W v}{n-r}$

n:観測値の数, r:パラメータの数

W:重量行列(ヘルマート変換では, W=I(単位行列)である。)

地図編集㉔



上の図は 1/2.5 万地形図で、方眼は 5mm×5mm、御池の面積を求めると、

(完全な1マスの個数)=36+(合わせて 1 マスとなるもの 9)=45

(半分のマス)=3 個=1.5

(合計)=45+1.5=46.5(個)

(面積)=46.5×(5mm×25,000)^2

=0.727 ㎢

測量士

〔No.14〕応用測量

応用測量①

縦断曲線

$$y = \frac{(i_2 - i_1)}{200L} x^2$$

縦断曲線の長さ

$$L = R\frac{|i_2 - i_1|}{100}$$

応用測量②

流量計算

1点法(水深の 60%の深さの流速を平均流速)

$$v_m = v_{0.6}$$

2点法(水深の 20%と 80%の深さの流速測定)

$$v_m = \frac{1}{2}(v_{0.2} + v_{0.8})$$

3点法

$$v_m = \frac{1}{4}(v_{0.2} + 2v_{0.6} + v_{0.8})$$

4点法

$$v_m = \frac{1}{5}\{(v_{0.2} + v_{0.4} + v_{0.6} + v_{0.8}) + \frac{1}{2}\left(v_{0.2} + \frac{v_{0.8}}{2}\right)\}$$

応用測量③

弧長と弦長の差

C:弧 AB, L:弦 AB, R:曲線半径, α :中心角

$$L = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} - \frac{(\frac{\alpha}{2})^3}{3!} + \frac{(\frac{\alpha}{2})^5}{5!} - \frac{(\frac{\alpha}{2})^7}{7!} + \cdots$$

$C = R\alpha$ より $\frac{\alpha}{2} = \frac{C}{2R}$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{C}{2R} - \frac{(\frac{C}{2R})^3}{3!} + \frac{(\frac{C}{2R})^5}{5!} - \frac{(\frac{C}{2R})^7}{7!} + \cdots$$

右辺の第 3 項以下は微小なので

$$L \approx 2R\left\{\frac{C}{2R} - \frac{\left(\frac{C}{2R}\right)^3}{3!}\right\} = C - \frac{C^3}{24R^2}$$

$$C - L \approx \frac{C^3}{24R^2} = \frac{L^3}{24R^2}$$

応用測量④

○単曲線の公式

接線長:$TL = R\tan\frac{I}{2}$

セカント:$E = R\left(\sec\frac{I}{2} - 1\right)$

中央縦距:$M = R(1 - \cos I/2)$

偏角と中心角:$\delta = L/(2R) = \theta/2$

弦長と偏角:$L = 2R\sin\delta$

応用測量⑤

○単曲線の設置順序

1)円曲線 R, 2方向の接線, 交点 IP、交角 I を定める。

2)Rから接線長 TL, 曲線長 CL, セカント SL(E), を計算し, BC, SP, EC の位置を決定する。

3)短弦 ℓ_1, 終短弦 ℓ_{n+1} の長さを求め, 中心杭の位置を定める。

4)以上の順序で, IP 杭, 役杭, 中心杭を打設する。

応用測量⑥

単曲線の設置方法

①偏角法

偏角弦長法:

円周上の1点からトランシットで偏角を, 巻尺で弦長を測定し設置する

弦角弦長法:

(BC, EC 間の見通がない場合)

円周上の1点から円周上の別の点を後視し, 器械点, 別の既知点から弦長を測定する

前方交会法:

BC, EC にトランシットを設置し, 2台のトランシットの視準線の交点として求める

オフセット法(見通良い場合)

接線オフセット法:

基準接線から垂直に支距をとり設置する

中央縦距法:

曲線上の2点間の2等分線上に縦距をとり設置する

長弦オフセット法:

BC から EC に長弦を基線とする直交座標により設置する

応用測量⑦

クロソイドの型式
①基本型クロソイド:
(直線, クロソイド, 円弧)
直線, クロソイド, 円弧で結ぶ形式
②凸型クロソイド:
(直線, クロソイド, クロソイド, 直線)
同方向に曲がる2つのクロソイドを曲率半径の小さい点で結ぶ形式
③S型クロソイド:
(円弧, クロソイド, クロソイド, 円弧)
反対方向に曲がる2つの円弧を2つのクロソイドの曲率半径∞の位置で結ぶ形式
④卵型クロソイド:
(円弧, クロソイド, 円弧)
同方向に曲がる2つの円弧を1つのクロソイドで結ぶ形式
⑤複合型クロソイド:
(クロソイド, クロソイド, 円弧)
同方向に曲がる2つ以上のクロソイドを曲率半径の等しい点で結ぶ形式

応用測量⑧

単位クロソイド:$r \cdot \ell = 1$

(クロソイド表において$\ell = L/A$より、

そして$L = \ell \times A$)

曲率:1/R (曲線半径の逆数)

応用測量⑨

クロソイドの公式
パラメータ:$A^2 = RL$

接線角:$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{L^2}{2A^2} = \frac{A^2}{2R^2}$

動径:$S_o = \sqrt{X^2 + Y^2}$

X,Y 座標:

$$X = L\left(1 - \frac{L^2}{40R^2} + \frac{L^4}{3456R^4} - \frac{L^6}{599040R^6} + \cdots\right)$$

$$Y = \frac{L^2}{6R}\left(1 - \frac{L^2}{56R^2} + \frac{L^4}{7040R^4} - \frac{L^6}{1612800R^6} + \cdots\right)$$

シフト:$\Delta R = Y + R \cdot \cos\tau - R$
M の X 座標:$X_M = X - R \cdot \sin\tau$
単接線長:$T_K = Y \cdot \operatorname{cosec}\tau$
長接線長:$T_L = X - Y \cdot \cot\tau$

応用測量⑩

2つの円弧との関係
(卵型クロソイド)
$S = L_2 - L_1$
$A^2 = R_1 \cdot L_1 = R_2 \cdot L_2$

応用測量⑪

基本型クロソイドの対称型
与えられる値: θ, R, A
表より読みとる値: τ, ΔR, X_M, L
計算により求める:

$$W = (R + \Delta R)\tan\frac{\theta}{2}$$

$T_D = W + X_M$
$\alpha = \theta - 2\tau$
$L_c = R \cdot \alpha^o/\rho^o$
$CL = 2L + L_c$
$N_c = \frac{R+\Delta R}{\cos\frac{\theta}{2}} - R$

応用測量⑫

クロソイドの設置方法
①交会点 V(IP)を設置し, 交角 θ を求める。
②接線角 τ, 短接線長T_K, 長接線長T_L、主接線長T_D、円の接線長 TL を計算する。
③IP からT_Dの距離にクロソイド始点 KA を設置する。
④KA からT_Lの距離を IP に向けて測り, 点 G を設置する。
⑤点 G において, 主接線より τ の角をふり, T_Kの距離を測定して、点 P(KE)を設置する。
⑥G から KE の線を KE よりT_Lの距離だけ延長し, 点 V'(IP')を設置する。
⑦別側も同様に点 V'を設置する。
⑧両側から点 V'の合致をチェックする。
⑨クロソイド曲線長 L、円曲線長 CL を求め、主要点, No 杭の追加距離を計算する。

応用測量⑬

クロソイド中間点の設置
直交座標法:距離測定のため見通の
良い平地のみに用いる
①接線オフセット法:
主接線から直交座標による

中間点の設置
②弦オフセット法
極座標法
③極角動径法による中間点の設置
④極角弦長法による中間点の設置
⑤弦角弦長法による中間点の設置

応用測量⑭

横断方向
単曲線:角 P_1, P, P_2 の2等分角
クロソイド:角 P_1, P, P_2 の2等分　　角ではない

応用測量⑮

引照点の設置
工事に支障のない場所，地盤堅固な場所に設置する
直交させ，直線上に2点設置する
X 型 A･B C･D
V 型 AB･DC
T 型 A･B ･DC
L 型 ･BA

応用測量⑯

流速測定方法
測定流速と水位観測の断面積から求める
Q=A×V
堰の水位を求め、越流公式から流量を求める

応用測量⑰

①流速計測定法:
回転式の流速計を使用し，
その回転数から流速を測定する
V=aN+b(m/s)
N=音数／流速時間=毎秒回転数

応用測量⑱

②浮子測定法:V=L/t
更正係数 0.85 を乗じる
表面浮子，二重浮子，棒浮子
橋がある場合は人手で投下する
橋がない場合は浮子投下装置を設置する
第1横断見通杭は，流量観測所の横断線上に設置し，夜間投光機を設置する
投下距離
第1断面まで:50m 程度
第1～第2断面:100～200m
河幅以上
1～2分で到達する距離
流速測線数:10m に1本程度

応用測量⑲

③水位流量曲線法
$Q = a(H + b)^2$
H:水位
a.b:定数

応用測量⑳

④超音波法:
伝播時間は，流向方向で減少し，逆方向で増加する

応用測量㉑

⑤堰測法
刃型堰:精度良，人口水路，小河川
ナップ型堰:大流量可，ダム余水吐利用
応頂堰:落差工利用

応用測量㉒

流量測定場所
流下距離が直線で，断面や河床勾配が一様な流況のよい場所
橋脚，堰等の河川構造物による乱流の少ない場所
河床変動，河心移動が少ない場所
投下場所，見通断面の連絡が可能な場所
急流や暖流の変化が少ない場所

応用測量㉓

座標法による面積計算（多角形 ABCDE）

点	X(m)	Y(m)	$Y_{i+1} - Y_{i-1}$	$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1})$
A	+ 4.	+ 2.	−4	−16
B	+ 9.	+ 2.	3	27
C	+10.	+ 5.	7	70
D	+ 7.	+ 9.	1	7
E	+ 4.	+ 6.	−7	−28
Σ				60
Σ/2				30

(面積)＝30 ㎡

〔No.15〕機器③応用測量用

機器①

1級セオドライト・TS:
　1～4 級基準点測量
水平
最小読定値 1”
対回数 2
水平目盛位置 0°、90°
鉛直
最小 1”
対回数 1
距離
　読定単位 1mm
　セット数 2

機器②

2級セオドライト・TS:
　2～4 級基準点測量
水平
最小読定値 10”
対回数 3(2,2)
水平目盛位置 0°、60°、120°
鉛直
最小 10”
対回数 1
距離
　読定単位 1mm
　セット数 2

機器③

3級セオドライト・TS:
　4級基準点測量
水平
最小読定値 20”
対回数 2
水平目盛位置 0°、90°
鉛直
最小 20”
対回数 1
距離
　読定単位 1mm
　セット数 2

機器④

GNSS 測量機
スタティック法
　観測時間　120 分以上
　データ取得間隔　30 秒以下
　1 級基準点測量(10km以上)

　観測時間　60 分以上
　データ取得間隔　30 秒以下
　1 級基準点測量(10km未満)
　2~4 級基準点測量

機器⑤

短縮スタティック法
観測時間　20 分以上
　データ取得間隔　15 秒以下
　3～4 級基準点測量

機器⑥

キネマティック法
観測時間　10 秒以上
　データ取得間隔　5 秒以下
　3～4 級基準点測量

機器⑦

RTK 法
観測時間　10 秒以上
　データ取得間隔　1 秒
　3～4 級基準点測量

機器⑧

ネットワーク型 RTK 法
観測時間　10 秒以上
　データ取得間隔　1 秒
　3～4 級基準点測量

機器⑨

衛星数

	スタティック法	その他
GPS 衛星のみ	4 衛星以上	5 衛星以上
GPS-GLONASS	5 衛星以上	6 衛星以上

機器⑩

レベル
1級レベル
読定単位 0.01mm
許容範囲 0.3mm
1～4 級水準測量

2級レベル
読定単位 0.1mm
許容範囲 0.3mm
2～4 級水準測量

3級レベル
読定単位 1mm
許容範囲 3mm
3･4 級水準測量
簡易水準測量
機器性能⑪
1 級水準　2 級　3 級　4 級　簡易
視準距離　60m　60m　70m　70m　80m
読定単位　0.1mm　1mm　1mm　1mm　1mm

機器⑫

標尺
1級標尺
1 級水準測量
標尺改正数 20℃　50μm/m 以下
目盛幅精度　公称値の±20μm
2級水準測量　100μm/m 以下
目盛幅精度　公称値の±20μm

2級標尺
3･4級水準測量
標尺改正数　200μm/m 以下
目盛幅精度　----

機器⑬

鋼巻尺:JIS1級

機器⑭

GNSS
1級　2級
GNSS 受信機　2周波　1 周波
GNSS アンテナ2周波　1周波

機器⑮

スタティック法･短縮スタティック法･
キネマティック法･RTK 法･ネットワーク型 RT
K 法による
水平成分ΔN･ΔE の差　15mm以内
高さ成分ΔU の差　50mm以内

機器⑯

観測法　距離　時間
2周波スタティック　10km　3 時間
1周波スタティック　1km　1 時間
2周波短縮スタ　200m　20 分
1 周波短縮　200m　20 分
キネマティック　200m内　10 秒以上
RTK 法　200m内　10 秒以上
ネットワーク RTK　200m内　10 秒以上

機器⑰

④路線測量
基本測量，基準点
1等～4等三角点
1等～2等水準点
公共測量基本点
1級～3級基準点
1級～2級水準点
3級トランシット
光波測距儀
3級レベル
2級標尺

機器⑱

⑤中心線測量，縦断測量，横断測量
3級トータルステーション
3級トランシット
光波測距儀
3級レベル
2級 GNSS
2級標尺
鋼巻尺
布巻尺

機器⑲

⑥河川測量，水準基標測量
2級レベル
1級標尺
鋼巻尺

測量士

〔No.16〕路線測量

路線測量①

路線測量:
　線状築造物建築のための調査、計画、実施設計等に用いる測量

路線測量②

作業工程
　①作業計画
　②線形決定
　③IP設置測量
　④中心線測量
　⑤仮BM設置測量
　⑥縦断測量
　⑦横断測量
　⑧詳細測量
　⑨用地幅杭設置測量

路線測量③

①作業計画
作業計画
②線形決定
路線選定
条件点の観測
条件点の計算
IPの決定
線形の決定
線形図の作成
精度管理
③IP設置測量
IP設置の逆計算
IP設置
精度管理
④中心線測量
中心点、主要点設置の逆計算
中心点、主要点の設置
点検測量
保護杭、引照杭の設置
精度管理
線形図、地形図の作成
⑤仮BM設置測量
仮BM選点
仮BM設置
観測
計算
点検測量
精度管理
⑥縦断測量
観測
計算
点検測量
縦断図の作成
精度管理
⑦横断測量
観測
計算
点検測量
横断図の作成
精度管理
⑧詳細測量
TS 測量
縦断測量
横断測量
精度管理
⑨用地幅杭設置測量
幅杭座標計算
幅杭逆打計算
幅杭設置
杭打図の作成
用地幅杭点間測量
精度管理
○その他
点検
納品

路線測量④

①線形決定
路線選点結果に基づき地形図上でIP位置を座標値で定め，線形図を作成する作業
4級以上の基準点を用い放射法により行う
1/1000 以上の地形図を用い，設計条件、現地状況を勘案して決定する
線形図作成は，主要点，中心点の座標値を展開する
　○距離，角度の許容値

方法　　較差の許容
水平角：　1対回　　40″
鉛直角：0.5 対回　　40″
距離　：2回測定　　5mm
○条件点間距離が直接測定できない場合
条件点の座標値決定に用いた既知点以外の既知点から，別に求めた座標値の較差，TSの対辺測定機能を用いて条件点間距離を測定し，その較差より確認する
座標値により確認する場合は短い方の距離を使用する

路線測量⑤

②IP設置測量:
IP点を現地に設置する作業
線形決定の座標値より，4級以上の基準点を用い放射法により行う
座標値が無い場合は，現地主要構造物の図上距離から現地基準点を交会し設置する
IP杭には，引照点杭，保護杭を設置する
距離，角度の許容値
()内は 30m 未満の場合を示す
平地
距離:S/3000 (10mm)
角度:60″
山地
距離:S/2000 (15mm)
角度:90″
S:点間距離の計算値

路線測量⑥

③中心線測量:
主要点，中心点を現地に設置し，線形図、地形図を作成する作業
中心点設置は，4級以上の基準点，IP，主要点を用い放射法で行う
線形地形図は，地形図に主要点，中心点の座標値を展開し作成する
中心点間隔
道路
計画調査:100m または 50m
実施設計：20m
河川
計画調査:100m または 50m
実施設計：20m または 50m
海岸
実施設計：20m または 50m
点検測量
隣接中心点の点間距離の計算値と測定値較差を求める方法により行う
距離，角度の許容値
( )内は 20m 未満の場合を示す
平地
距離:S/2000 (10mm)
角度:2″
山地
距離:S/1000 (20mm)
角度:3″
S:点間距離の計算値
標杭の設置
主要点には役杭を，中心点には中心杭を設置する
役杭には必要に応じ引照点杭，保護杭を設置する
役杭、中心杭には，識別名，名称等を記入す　る
引照点杭設置時には，引照点図を作成する
点の記を作成する

路線測量⑦

現地法
IPにトランシットを設置し，その場で半径等，線形諸元を計算する
主要点は，IPを基準とする視通法、放射法で設置する
中心点は、役杭を基準とする視通法，放射法，視距法で設置する
図上法
IP座標を測定し，決定座標値に基づき線形諸元を計算する
主要点は，IP，基準点を与点とする視通法，放射法で設置する
中心点は，主要点，基準点を与点とする視通法，放射法，視距法で設置する
解析法
近傍の基準点から放射法で主要点，中心点を設置する
主要点のみ別の基準点から放射法で検測する

路線測量⑧

④仮BM設置測量:
縦断測量，横断測量に必要な水準点(仮BM)を現地に設置し，標高を求める作業
河川等で距離標のある時は仮BMとして使用してよい
平地:3級水準測量
山地:4級水準測量
間隔:0.5km を標準
標杭(仮BM杭)を設置する
点の記を作成する

路線測量⑨

⑤縦断測量:
中心杭等の標高を定め縦断図を作成する作業
中心杭高，中心点，中心線上の地形変化点（縦断変化点）の地盤高，中心線上の主要構造物の標高を定める
仮BMまたは同等以上の水準点に基づき，
平地:4 級水準測量
山地:簡易水準測量
主要構造物の縦断変化点位置は，中心点からの距離を測定し定める
仮BMまたはTP中間点の観測は中間視によ る
直接水準測量に代え間接でもよい

路線測量⑩

縦断測量の基準
観測基準点は仮BMとし，仮BMから出発し他の仮BMに結合する
往路観測は中心杭高，中心杭，縦断変化点杭，地盤高，中心線上の主要構造物の標高を測定する
復路観測は中心杭高のみ測定する
間接水準測量は，単観測昇降式で往復観測とする
閉合差は，簡易水準測量の閉合差とする
縦断変化点，主要構造物の位置は，中心点から距離測定し定める
縦断変化点杭を設置する
距離精度
平地:S/1000
山地:S/500

路線測量⑪

縦断図の作成
距離を表す横縮尺は線形地形図の縮尺と同一とする
高さを表す縦縮尺は線形地形図の 5～10 倍を標準とする
縦断図の記入項目
曲線方向，切盛高，片勾配，拡幅

路線測量⑫

⑥横断測量:
中心杭等を基準とし，中心点の中心線接線に対し直角方向の線上の地形変化点，地物，中心点からの距離，地盤高を定め，横断図を作成す る作業
直接水準測量により行う
中心点からの距離を鋼巻尺で測定し，標高はレベルで測定する
急峻山地は間接水準測量により行い，標高は TS で測定する

路線測量⑬

横断測量の基準
横断方向の末端見通杭を設置する
測量の基準点は中心杭，計画機関の指定する縦断変化点杭とする
間接水準測量は単観測昇降方式による
点検測量は，点検測量率によって選択された横断面について再度横断測量を実施し，その結果に基づいて描画した横断図を先に描画した横断図の中心点，末端見通杭を固定し重ね横断形状を比較する
距離，標高の許容値
平地
距離: $L/500$

標高:$2\text{cm} + 5\text{cm}\sqrt{L}/100$

山地
距離:$L/300$

標高:$5\text{cm} + 15\text{cm}\sqrt{L}/100$

L:中心杭と末端見通杭の定距離(m)
横断図の縮尺
縦断図の縦縮尺と同一を標準

路線測量⑭

①詳細測量:
主要構造物の設計に必要な詳細平面図，縦断図，横断図を作成する作業
地形測量，数値地形測量により詳細平面図を作成する
縦断図は縦断測量により作成する
横断図は横断測量により作成する
詳細平面図の縮尺は 1/250 以上とする
縦断図の横縮尺は詳細平面図と同一，縦縮尺は 1/100 を標準とする
横断図の縮尺は縦断図の縦縮尺と同一とする

路線測量⑮

②用地幅杭設置測量:
取得等に係る用地範囲を示し，中心線接線直角方向の所定位置に，用地幅杭を設置し杭打図を作成する作業
中心点等から中心線直角方向の用地幅杭点の座標を計算
4級以上の基準点，主要点，中心点から放射法により用地幅杭を設置
杭打図の作成は，用地幅杭点の座標値と中心点座標値を展開し作成する

路線測量⑯

用地幅杭点間測量

隣接する用地幅杭点間の全辺距離を現地で測定し，計算した用地幅杭点間距離と比較する
設置杭は測点番号，中心杭からの距離を表示
距離，角度の許容値
S:点間距離の計算値
市街地
20m 未満: 10mm
20m 以上: S/2000
角度: 90″
平地
20m 未満: 20mm
20m 以上: S/1000
角度: 90″
山地
20m 未満: 50mm
20m 以上: S/400
角度: 90″

路線測量⑰

精度管理
1)作業計画
作業期間
基準点の配置
使用既知点，機器の適否
2)IP設置測量
計算点検
測量方法の適否
測定精度の確保
(距離:1/3000.角度:60″)
点検測量の実施
IP杭番号の記入
引照点杭，保護杭の設置
3)仮BM設置測量
路線沿いに，0.5km に 1 点を標準とし，後続の縦断，横断測量に便利な場所，地盤堅固な場所に設置する
3級水準測量で行い，上級の水準点に結合する
4)縦断測量
地盤高の測定は4級水準測量で行い，仮BMに結合する
距離測定精度の確保:1/1000
中心杭以外の必要位置を測定する
地盤高の測定位置を統一する
(起点から終点に向いて起点側)
5)横断測量
末端見通杭の設置
測定精度の確保
距離:L/500
標高:$2\text{cm} + 5\text{cm}\sqrt{L}/100$
縦断図の縦縮尺と横断図の縮尺を統一する
6)用地幅杭設置測量
距離測定は直接測距法を優先する
測定精度の確保
距離:2cm 以内
角度:90″
点検測量の実施
幅杭番号を記入
杭打図の作成
7)成果品等整理
成果等の点検
成果の検定
総合的再確認

路線測量⑱

成果
①観測手簿
条件点設置
仮BM設置測量
縦断測量
横断測量
詳細測量
②計算簿
線形決定
条件点設置
IP設置測量
中心線測量
用地幅杭設置測量
③成果表
条件点設置
仮BM設置測量
(縦断測量，詳細測量)
④平板原図
詳細測量
⑤線形図
線形決定
⑥線形地形図
中心線測量
⑦杭打図
用地幅杭設置測量
⑧縦断図
縦断測量
横断測量
詳細測量
⑨横断図
縦断測量
横断測量

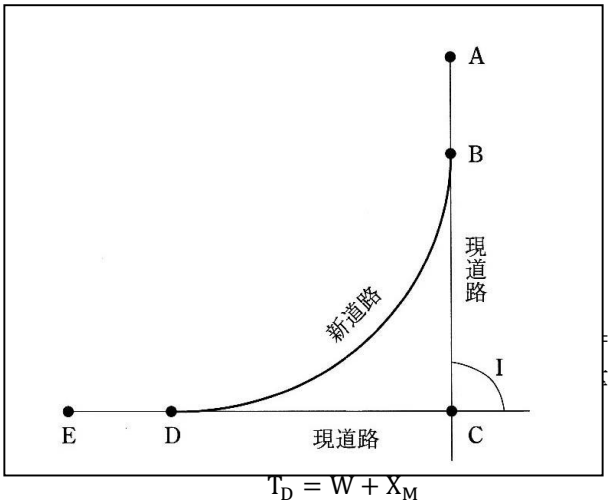
詳細測量
⑩詳細平面図
詳細測量
⑪引照点図
中心線測量
⑫点の記
IP設置測量
中心線測量
仮BM設置測量
⑬方眼原図
縦断測量
横断測量
詳細測量
⑭精度管理表
条件点設置
IP設置測量
中心線測量
仮BM設置測量
縦断測量
横断測量
詳細測量
用地幅杭設置測量
⑮資料

路線⑲

○横断測量(準則 362 条)
1)横断測量は，中心杭等を基準に，中心点における中心線の接線に対して直角方向の線上にある地形の変化点及び地物について，中心点からの距離及び地盤高を測定する。
2)横断方向には，原則として，見通杭を設置する。
3)測量の基準とする点は，中心杭及び計画機関が指示する縦断変化点杭とする。
4)横断測量における地盤高の測定は，地形，地物等の状況により直接水準測量又は間接水準測量により行う。
5)間接水準測量は，測量地域の地形，地物等の状況を考慮しTS，RTK－GNSS 法，ネットワーク型RTK－GNSS 法により行う。

路線⑳

(路線測量)



=75.7°、
ΔR=

$T_D = W + X_M$

$W = (R + \Delta R)\tan\frac{I}{2} = (240 + 0.6)\tan\frac{90^o}{2}$

$= 240.60\text{m}$

$T_D = W + X_M = 240.6 + 30.0 = 270.60\text{m}$

現道路の距離$=2 \times T_D = 2 \times 240.60 = 541.20\text{m}$

2)新道路

・パラメータ:$A^2 = RL$より、

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{(120\text{m})^2}{240\text{m}} = 60.0\text{m}$$

・接線角:$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{60.0}{2\times240} = 0.125 \times \rho^o = 7.162^o$

・中心角:$\alpha = 75.7^o$

・$L_c = \frac{\alpha^o}{\rho^o} \times R = \frac{75.7^o}{\rho^o} \times 240\text{m} = 317.09\text{m}$

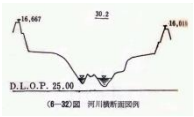
・CL＝Lc+2L=317.09+2×60.0＝437.09m

3)現道路と新道路の路線長の差

＝541.20−437.09＝104.11m

測量士

〔No.17〕河川測量



河川測量①

河川測量
河川海岸等の調査，河川維持管理等に用いる測量
河川の形状，水位，深浅，断面，勾配を測定
流速，流量を調査
高さの基準
　河川：水系ごとの河川基準面
　海岸：基本水準面(DL)

河川測量②

作業工程
①作業計画
②距離標設置測量
③水準基標測量
④定期縦断測量
⑤定期横断測量
⑥深浅測量
⑦法線測量
⑧海浜、汀線測量

河川測量③

①作業計画
作業計画
②距離標設置測量
位置の決定
距離標の埋設
距離標の位置図作成
精度管理
③水準基標測量
水準基標の設置
観測
計算
点の記の作成
整理
点検
精度管理
④定期縦断測量(左右岸)
縦断観測
構造物の調査測量
計算
整理
点検
縦断図の作成
精度管理
⑤定期横断測量(陸部)
末端見通杭，見通杭，水際杭の打設
距離標見通杭，末端見通杭，水際杭間の距離を測定
横断観測
計算
整理
点検
横断記簿の作成
横断図の作成
精度管理表(陸部)
⑥深浅測量(水部)
水深観測
計算
整理
点検
横断記簿の作成
横断図の作成

河川測量④

①作業計画
河川，海岸の測量に必要な状況を把握し，河川測量の細分ごとに主任技術者が作成する
天候障害を受けやすい潮の干満，ダム放水等を考慮する

河川測量⑤

②距離標設置測量
河心線接線に対し直角方向の両岸の堤防法肩、法面等に距離標を設置する作業
測量を繰り返し，河床，堤防，縦断面，横断面の変動状態を捉える
地形図上で位置を選定し，座標値に基づき，近傍の3級基準点等から放射法で行う
距離標の設置間隔：200m を標準
河川の河口または幹川の合流点に設けた起点から河心に沿って行う
距離標の位置を示す点の記を作成

河川測量⑥

③水準基標測量

定期縦断測量の基準となる水準基標の標高を定める作業

1等(級)水準点より行う
2級水準測量により行う
水準基標の設置間隔:20km 以下標準
水位標に近い位置に設置する
水準基標の位置を示す点の記を作成

河川測量⑦

④定期縦断測量
定期的に距離標等について縦断測量を実施し、縦断図を作成する作業
左右両岸の距離標の標高，堤防変化点，地盤，主要構造物について，距離標からの距離と標高を測定する
水準基標を出発し他の水準基標に結合する
平地:3級水準測量
山地:4級水準測量
(4級水準測量に代えて
間接水準測量でもよい)
間接水準測量は，単観測昇降式で往復観測を行う
閉合差は簡易水準測量の閉合差とする
○縦断図の縮尺
横縮尺:1/1000～1/10000
縦縮尺:1/100～/200

河川測量⑧

○堤防上変化点構造物の位置:
距離標から次の距離標の直線上で，対象物が直角となる地点の直接距離を測定する
近傍の距離標を既知点とし，構造物を放射法により観測し，座標値を用いて，距離標からの距離を決定する

河川測量⑨

○縦断図の記入項目
測点
単距離
追加距離
計画河床高
最低河床高
計画高水敷高
計画高水位
計画堤防高
左岸堤防高
右岸堤防高
水準基標
水位標
構造物の名称、位置、標高

河川測量⑩

⑤定期横断測量
定期的に左右岸距離標の視通線上の横断測量を実施し，横断図を作成する作業
左右距離標の視通線上の地形変化点等について，距離標からの距離，標高を測定する
水際杭を境に陸部と水部に分ける
陸部は，左右岸の距離標を基準とし，地形変化点を中間視し水際杭に結合する
水部は，左右岸の水際杭を基準とし深浅測量を実施する
横断図の作成は，定期横断測量の結果より行 う

河川測量⑪

定期横断測量の基準(陸部)
測点間:10m 以内
測量範囲:堤内 20～50m
測線間隔:100～250m
横断図の縮尺
横縮尺:1/100～1/10000
縦縮尺:1/100～/200
距離標、水際杭、構造物の位置を表示
左岸の距離標を基準とし追加距離を＋－で表示

河川測量⑫

⑥深浅測量
河川，貯水池，湖沼，海岸の水底部の地形を明らかにするため水深，測深位置(船位)，水位(潮位)を測定し，横断図を作成する作業
精度
定期横断，流量観測横断:±15cm
(距離精度 1/300)
急流横断:±30cm
緩流横断:±20cm

湖，ダム:$\pm\left(10+\frac{h}{100}\right)$ cm

海岸:$\pm\left(20+\frac{h}{100}\right)$ cm

h:深さ cm

○横断図の作成
横縮尺:1/100～1/10000
縦縮尺:1/100～1/200
横断図には水際杭の位置を表示

河川測量⑬

水深測定
音響測深機:1m 以上
音波が水底から反射する時間を測定
観測深度補正を行う
バーチェックの実施:1回／日
ロッド(測深棒):2m 以内
レッド(測深錘):3 m 以内(1kg)
指定ピッチ位置で2回測定し平均値　　をとる

河川測量⑭

測深位置(船位)
　測定機器と間隔
ワイヤロープ:5m
水際杭からの距離で決定
TS:50～100m
水際杭に設置し，対岸水際杭の見通線上を走行する船のミラーをトラッキングで追尾し，水際杭からの距離を測定
GNSS:50～100m
　見通線上を走行する船の GNSS 受信機アンテナを用いキネマティック法により測定

河川測量⑮

水位測定(潮位)
水位標，検潮所，仮水位標により観測する
直接水準測量は，水準点，水際杭から観測する

河川測量⑯

成果
①観測手簿
距離標設置測量
水準基標測量
定期縦断測量
定期横断測量
深浅測量
法線測量
海浜測量
汀線測量
②計算簿
距離標設置測量
水準基標測量
法線測量
海浜測量
汀線測量
③成果表
距離標設置測量
水準基標測量
定期縦断測量
④縦断図
定期縦断測量
⑤横断図
定期横断測量
深浅測量
⑥線形図
法線測量
⑦等高、等深線図
海浜測量
⑧汀線図
汀線測量
⑨点の記
距離標設置測量
水準基標測量
⑩精度管理表
距離標設置測量
水準基標測量
定期縦断測量
定期横断測量
法線測量
海浜測量

⑪方眼原図
定期縦断測量
定期横断測量
深浅測量
⑫他資料

測量士

〔No.18〕用地測量

用地測量①

用地測量:
土地，境界等を調査し用地取得等に必要な資料，図面を作成する作業
4級基準点測量，4級水準測量以上の精度をもつ基準点に基づき行う

用地測量②

作業工程
①作業計画
②資料調査
③境界確認
④境界測量
⑤境界点間測量
⑥面積計算
⑦用地実測図原図等作成

用地測量③

①作業計画
用地測量実施区域の地形，土地利用，植生状況等を把握し，用地測量の細分ごとに作業計画を作成する
作業計画書
(作業方法，使用主要機器，日程要員)
既存成果の借用
測量調査範囲の確認
権利者資料の借用

用地測量④

②資料調査
土地取得等に係る土地の用地測量に必要な資料を整理，作成する作業
作業計画に基づき法務局に備る地図
地図に準ずる図面(公図)，公共団体に備る地図等(公図等)の転写等を，土地登記簿調査、建物登記簿調査，権利者確認調査に区分し行う

用地測量⑤

○公図転写
管轄法務局に備る公図等に基づき転写図を作成し行う
調査区域が広域に及ぶときは転写連続図を作成する

用地測量⑥

土地登記簿調査:
管轄法務局に備る土地登記簿登記事項証明書等に基づき土地調査表を作成し行う
土地の所在，地番，地目，地積，所有者名(登記名義人)住所、共有者の持分，所有権以外の権利登記名義人・住所・氏名・名称，権利の種類内容，権利の始期存続期間，仮登記予告登記の内容
土地調査表:
土地登記簿調査，権利者資料，現地調査の地形，土地利用状況，植生状況，権利者確認を行い作成する

用地測量⑦

建物登記簿調査:
管轄法務局に備る建物登記簿登記事項証明書等に基づき建物登記簿調査表を作成し行う
建物の所在，家屋番号，種類，構造，床面積，所有者名(登記名義人)氏名・名称・住所，共有者の持分，所有権以外の権利登記名義人住所・氏名・名称，権利の種類内容，権利の始期存続期間，仮登記予告登記の内容
建物登記簿等調査表:
建物登記簿調査，建物図面，現地調査の権利者確認を行い作成する

用地測量⑧

○権利者確認調査:
計画機関が貸与する資料等に基づき，権利者調査表を作成し行う

用地測量⑨

③境界確認:
現地一筆ごとに土地境界(境界点)を確認する作業
境界確認の立会通知
境界立会(官民、民民)
境界確定:土地境界立会確認書
(方法):
現地で転写図，土地調査表に基づき，関係権利者立会の上，境界点を確認、所定の標杭を設置
(範囲):
一筆を範囲とする画地
一筆の土地でも所有者以外の権利を設定している時は，権利ごとの画地
一筆の土地でも一部が異なる現況地目の時は，現況地目ごとの画地
基準:

各関係権利者に対し，立会を求める日定を事前に通知する
境界点に既設標識が設置されている時は，境界点とできる
（関係権利者同意が必要）
境界杭亡失等の時は，境界点復元測量を行う
（関係権利者の確認が必要）
境界確認完了時は，土地境界立会確認書を作成し，関係権利者全員に確認署名押印を求める

用地測量⑩

④境界測量
現地で境界点を測定し，座標値等を求める作業
補助基準点の設置
境界点測量
座標，距離，方向角計算
用地境界仮杭の設置
用地境界杭の設置
観測手簿，計算書
方法:
4級以上の基準点から放射法による
やむを得ない時は補助基準点を設置する
測量結果に基づき，計算から境界点の座標、境界点間距離，方向角を求める

用地測量⑪

○数値法
TS，トランシット，光波を用い，4級基準点から放射法により境界座標を求める
○図上法
基準点に平板を設置し，放射法により，境界点位置を直接図示する

用地測量⑫

表示単位
　方向角:1″
　距離:0.001m
　座標値:0.001m
　面積:0.000001m²
距離、角度の許容値
　水平角： 0.5 対回
　鉛直角： 0.5 対回
　距離　： 2回測定 5mm

用地測量⑬

補助基準点
放射法の基点となる基準点を家屋の密集等で設置できない場合に設置する
基準点からの辺長 100m 以内、節点1点以内の開放多角測量により設置する
所定標杭を設置する
補助基準点の許容値
　水平角:2対回(0゜、90゜)
　　倍角差:60″
　　観測差:40″
　鉛直角:1対回 60″
　距離　:2回測定 5mm

用地測量⑭

○用地境界仮杭設置
用地幅杭位置以外の境界線上で用地境界杭の設置が必要な場合に，現地に用地境界仮杭を設置する作業
用地幅杭または用地境界仮杭と同一点に，所定の用地境界杭(コンクリート杭)を設置換する作業
方法:
交点計算による用地境界仮杭の座標値に基づき，4級基準点より放射法で行う
用地幅杭線と境界線の交点を視通法により決定する
　V型:
トランシットー求点ートランシット
2台のトランシットを据え，視準線の交点に設置する
正確，能率悪い，変形地に適する
　X型:
水糸ー求点ー水糸
4本の杭の対角線上に水糸を張り，交差点に設置する
トランシット不要,能率的,変形地に不適
　直線型:
TSー求点
TS(セオドライト＋鋼巻尺)を用い方向と距離により設置する
セオドライトは自由な位置に据付できる，
数点同時に設置可能

用地測量⑮

用地境界仮杭と用地幅杭
用地境界仮杭:
境界確認において確認した画地境界と用地幅杭線の交点
用地幅杭:
中心杭，役杭等からの中心線直角方向の用地幅杭点

用地測量⑯

⑤境界点間測量

境界測量等の隣接境界点間距離を測定し，精度を確認する作業
距離計算値と測定値を比較する
境界測量，用地境界仮杭設置，用地境界杭設置の終了時に行う
隣接する境界点間，境界点と用地境界点との距離を全辺現地測定し，用地幅杭設置測量で計算された距離と比較し行う
許容値
　平地：S/2000 (10mm)
　山地：S/1000 (20mm)
　　()内は 20m 未満の場合を示す

用地測量⑰

⑥面積計算
境界測量の成果に基づき，各筆等の取得用地の面積，残地の面積を算出する作業
座標法、数値三斜法により行う
面積計算：
用地取得する又は使用する区域取得等の区域に対して行う
残地計算：
　一筆の土地が用地幅杭線により3分割以上の場合，または一筆の土地の残地が一画地として利用困難な場合に行う

用地測量⑱

⑦用地実測図原図等作成
前節までの結果に基づき，用地実測図原図，用地平面図を作成する作業
用地実測図原図：
境界点等を図紙に展開する
用地平面図：
用地実測図原図の境界点等の必要事項を透写し，現地建物等の必要項目を測定し描画する
図紙厚 0.075mm(300 番)のポリエステルフィルム
縮尺：1/250
境界点展開精度：図上 0.3mm 以内
着墨仕上げ

用地測量⑲

○用地実測図原図の表示項目
基準点，境界点(官民，所有権，借地，地上権)，境界線
面積計算表
各筆の地番，地目，土地所有者，借地人等の氏名
境界辺長
隣接地番
用地の三斜，数字
借地境界，三斜，数字
用地取得線
図面名称，方位，座標線，縮尺，測量完成年月日，測量計画機関作業機関名称，土地測量従事者の記名押印
区市長村名，大字，字名，町丁名，境界線
用地幅杭点，用地境界点位置
現況地目
画地，残地面積
他指示事項

用地測量⑳

○用地平面図の表示項目
基準点，境界点(官民，所有権，借地，地上権)，境界線
各筆の地番，地目，土地所有者，借地人等の氏名
用地幅杭点，用地境界点位置，用地取得線
行政界，市長村名，大字，字名，町丁名
現況地目
建物，工作物
道路名，水路名
図面名称，配置，縮尺，方位，座標線
測量年月日，計画機関名，作業機関名
他指示事項

用地測量㉑

地籍調査
地番，地目の調査
境界，地積の調査
調査結果を地図，簿冊に作成
地上測量による地上法
図解法：
図解図根点に基づき平板測量から位置を図化
数値法：
数値図根点に基づきトランシット，光波で位置の座標値を求める
空中写真測量による航測法
併用法：地上測量による地上法と，空中写真測量による航測法を併用

地上法の工程
事業計画，事業準備
地籍図根三角測量
地籍図根多角測量
一筆調査
地籍細部測量(数値法)
地積測定
地籍図，地籍簿の作成

用地測量㉒

地目：田，畑，宅地，塩田，鉱泉地，池沼，山林，牧場，原野，墓地，境内地，運河用地，水道用地，用悪水路，ため池，堤，井溝，保安林，公衆用道路，公園，雑種地

用地測量㉓

成果
(1)資料調査
(2)公図等転写図
(3)公図等転写連続図
(4)土地調査表
(5)建物登記簿調査表
(6)権利者調査表
(7)境界確認
(8)土地境界立会確認書
(9)境界測量
(10)観測手簿
(11)測量計算簿
(12)境界点間測量
(13)精度管理表
(14)面積計算
(15)面積計算書
(16)用地実測図原図等作成
用地実測図原図
用地平面図
精度管理表

用地測量㉔

(復元杭の設置)準則 401 条 5 項
復元杭の設置等を行う場合は，関係権利者への事前説明を実施するものとする。この場合，原則として関係権利者による立会いは行わないものとする。
(境界確認完了) 403 条 5 項
境界確認が完了したときは，土地境界立会確認書を作成し，関係権利者全員に確認したことの署名押印を求める。
(境界点の間接測定)405 条 3 項
補助基準点は，基準点から辺長100メートル以内，節点は1点以内の開放多角測量により設置するものとする。
407 条
用地境界仮杭設置は，交点計算等で求めた用地境界仮杭の座標値に基づいて，4級基準点以上の基準点から放射法又は用地幅杭線及び境界線の交点を視通法により行うものとする。
(用地平面図データファイル) 416 条
用地平面図データファイルは，用地実測図データの境界点の座標値等の必要項目を抽出するとともに，現地において建物等の主要地物を測定し作成する。

用地測量㉕

(用地杭の位置)
甲及び乙の土地の面積を変えずに、境界線APで区割りして整正するためにはCP間の距離をいくらにすればよいか。

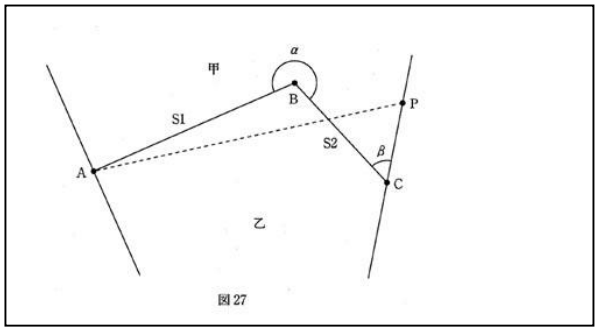


図 27

S1=57m
S2=34m
α =240°
β =60°
$\overline{AC}^2 = Z^2 = S_1^2 + S_2^2 - 2S_1S_2\cos 120^o = 57^2 + 34^2 - 2 \times 57 \times 34 \times (-0.5) = 6343m^2$
$Z = 79.643m$

$\frac{Z}{\sin B} = \frac{S_1}{\sin \angle ACB}$ より、$\sin \angle ACB = \frac{S_1}{Z}\sin B = \frac{57}{79.643} \times \sin 120^o = 0.619809$ ，
C=∠ACB=38.30219°

面　積　ABC=S　$= \frac{1}{2}S_1S_2\sin(360^o - \alpha) = \frac{1}{2} \times 57 \times 34 \times \sin 120^o = 839.179m^2$
PC=y として三角形 ACP の面積は S であるから

$S = \frac{1}{2}Zy\sin(\beta + \angle ACB)$ から

$y = \frac{2S}{Z\sin(\beta + C)} = \frac{2 \times 839.179}{79.643 \times \sin(98.30219^o)} = 21.297m$

測量士

〔No.19〕GIS

GIS＝統計学＝国情学＝国勢調査＝経済学

GIS①

GIS は,位置に関する情報をもったデータ(空間データ)を管理・加工し，視覚的に表示し、高度な分析を可能とする情報システムである。
空間データの互換性を確保するためには，空間データの設計方法や品質の考え方など,共通に守るべきルールが必要であり，そのルールを規定しているのが地理情報標準である。
地理情報標準により，空間データの相互利用が促進され，空間データ整備の重複の排除が期待できる。
メタデータは，空間データの所在、内容、利用条件などが記述され，クリアリングハウスで検索することができる。

GIS②

空間データ製品仕様書
空間データを作成する場合，その空間データ(製品)に要求される種々の条件を要求仕様書としてまとめたもの。
空間データの内容，構造，参照系，データ品質などが記載されている。
これに記述する標準的な項目は，国際標準化機構(ISO)の規格として定められている。
空間データを作成するときにはデータの設計書として利用でき，また空間データを利用するときのデータ説明書として利用できる。
これを新たに作成する場合には，既存の類似の空間データ製品仕様書を参考にして作成することができる。

GIS③

1)地理情報標準に基づいて作成された空間データの利用は、まずそのデータがどこに存在するのかを調べる必要がある。
2)クリアリングハウスは，空間データの検索をインターネット上で行うための仕組みであり、クリアリングハウスに登録されているメタデータの中に記述されている情報をもとに検索を行うことができる。
3)メタデータには，空間データの作成者・管理者などの情報や，品質に関する情報など、空間データを説明するための様々な情報が記述されている。
4)空間データを実際に利用するには，データの定義，構造，品質，記録方法などを知る必要がある。この定義，構造，品質，記録方法などは，空間データの製品仕様書に共通のルールで記述されている。
5)製品仕様書はデータ作成発注時には発注仕様書として，データ交換時にはデータの解説書として利用することができる。

GIS④

(GIS と地理情報標準)
1. GIS は，空間の位置に関連づけられた自然，社会，経済などの様々な地理空間情報を，総合的に処理，管理及び分析するために処理，管理及び分析するためのシステムである。
2. GIS で使用する地理空間情報は，座標，住所など空間上の特定の地点又は区域の位置を示す情報と，それに関連づけられた情報から成るもので，地図上で表現される点，線及び面の図形的要素と，図形的要素の内容や諸元を表す文字や数値などの属性要素から構成される。
3. 地理情報標準は，地理空間情報を異なるシステム間で相互利用する際の互換性の確保を主な目的に，データの設計，品質，記録方法，仕様の書き方などのルールを定めたものである。
4. 地理情報標準に準拠した製品仕様書は，データ作成時には発注書として，データ交換時には説明書として使用することができる。

測量士

〔No.20〕作業規程の準則

準則①

第1編 総則
(目的及び適用範囲)
第1条 この準則は、測量法第 34 条の規定に基づき、公共測量における標準的な作業方法等を定め、その規格を統一し、必要な精度を確保すること等を目的とする。
2 この準則は、公共測量に適用する。

準則②

(測量の基準)
第2条 公共測量において、位置は平面直角座標系(平成 14 年国交省告示第 9 号)に規定する世界測地系に従う直角座標及び測量法施行令(昭和 24 年政令第 322 号)第2条第2項に規定する日本水準原点を基準とする高さ(標高)により表示する。
(測量法の遵守等)
第3条 測量計画機関(計画機関)及び測量作業機関(作業機関)並びに作業に従事する者(作業者)は、作業の実施に当たり、法を遵守しなければならない。
(関係法令等の遵守等)
第4条 計画機関、作業機関、作業者は作業の実施に当たり、財産権、労働、安全、交通、土地利用規制、環境保全、個人情報の保護等に関する法令を遵守し、これらに関する社会的慣行を尊重しなければならな
い。

準則③

(測量の計画)
第5条 計画機関は、公共測量を実施しようとするときは、目的、地域、作業量、期間、精度、方法等について適切な計画を策定しなければならない。
2 計画機関は、前項の計画の立案に当たり、当該作業地域における基本測量及び公共測量の実施状況について調査し、利用できる測量成果、測量記録及びその他必要な資料(測量成果等)の活用を図ることにより、測量の重複を避けるよう努めなければならない。
3 計画機関は、得ようとする測量成果の種類、内容、構造、品質等を示す仕様書(製品仕様書)を定めなければならない。
一 製品仕様書は、「地理情報標準プロファイル Japan Profile for Geographic Information Standards(JPGIS)」に準拠するものとする。
二 製品仕様書による品質評価の位置正確度等については、この準則の各作業工程を適用するものとする。ただし、この準則における各作業工程を適用しない場合は、JPGIS による品質評価を標準とするものとする。

準則④

(測量法に基づく手続)
第6条 計画機関は、法第 39 条において読み替えて準用する法第 14 条第1項、同条第2項(実施の公示)、法第 21 条(永久標識及び一時標識に関する通知)及び法第 26 条(測量標の使用)並びに法第30条第1項(測量成果の使用)、法第 36 条(計画書についての助言)、法第 37 条(公共測量の表示)及び法第 40 条第1項(測量成果の提出)等の規定による手続を適切に行わなければならない。
(測量業者以外の者への発注の禁止)
第7条 計画機関は、法第 10 条の3に規定する測量業者以外の者に、この準則を適用して行う測量を請け負わせてはならない。
(基盤地図情報)
第8条 この準則において「基盤地図情報」とは、地理空間情報活用推進基本法(平成 19 年法律第 63 号。「基本法」)第2条第3項に基づく基盤地図情報に係る項目及び基盤地図情報が満たすべき基準に関する省令(平成 19 年国土交通省令第 78 号。「項目及び基準に関する省令」)の規定を満たす位置情報をいう。
2 計画機関は、測量成果である基盤地図情報の整備及び活用に努めるものとする。

準則⑤

(実施体制)
第9条 作業機関は、測量作業を円滑かつ確実に実行するため、適切な実施体制を整えなければならない。
2 作業機関は、作業計画の立案、工程管理及び精度管理を総括する者として、主任技術者を選任しなければならない。
3 前項の主任技術者は、法第 49 条の規定に従い登録された測量士であり、かつ、高度な技術と十分な実務経験を有する者でなければならない。
4 作業機関において、技術者として公共測量に従事する者は、法第 49 条の規定に従い登録された測量士又は測量士補でなければならない。

準則⑥

(安全の確保)
第 10 条 作業機関は、特に現地での測量作業において、作業者の安全の確保について適切な措置を講じなければならない。
(作業計画)

第 11 条 作業機関は、測量作業着手前に、測量作業の方法、使用する主要な機器、要員、日程等について適切な
作業計画を立案し、これを計画機関に提出して、その承認を得なければならない。作業計画 を変更しようとするときも同様とするものとする。
(工程管理)
第 12 条 作業機関は、前条の作業計画に基づき、適切な工程管理を行わなければならない。
2 作業機関は、測量作業の進捗状況を適宜計画機関に報告しなければならない。
(精度管理)
第 13 条 作業機関は、測量の正確さを確保するため、適切な精度管理を行い、この結果に基づいて品質評価表及び精度管理表を作成し、これを計画機関に提出しなければならない。
2 作業機関は、各工程別作業の終了時その他適宜この規定に定める点検を行わなければならない。
3 作業機関は、作業の終了後速やかに点検測量を行わなければならない。

準則⑦

(機器の検定等)
第 14 条 作業機関は、計画機関が指定する機器については、付録1に基づく測定値の正当性を保証する検定を行った機器を使用しなければならない。ただし、1年以内に検定を行った機器(標尺については3年以内)を使用する場合は、この限りでない。
2 前項の検定は、測量機器の検定に関する技術及び機器等を有する第三者機関によるものとする。ただし、計画機関が作業機関の機器の検査体制を確認し、妥当と認められた場合には、作業機関は、付録2による国内規格の方式に基づき自ら検査を実施し、その結果を第三者機関による検定に代えることができる。
3 作業者は、観測に使用する主要な機器について、作業前及び作業中に適宜点検を行い、必要な調整をしなければならない。
(測量成果の検定)
第 15 条 作業機関は、基盤地図情報に該当する測量成果等の高精度を要する測量成果又は利用度の高い測量成果で計画機関が指定するものについては、付録3に基づく検定に関する技術を有する第三者機関による検定を受けなければならない。

準則⑧

(測量成果等の提出)
第 16 条 作業機関は、作業が終了したときは、遅滞なく、測量成果等を付録4の様式に基づき整理し、これらを計画機関に提出しなければならない。
2 第2編を適用して行う基準点測量(第4編において第2編を適用して行うこととしているものを含む。)において得られる測量成果は、すべて基盤地図情報に該当するものとする。
3 第3編及び第4編を適用して行う地形測量及び写真測量及び応用測量において得られる測量成果であって、基盤地図情報に該当するものは、第3編第9章の規定を適用するものとする。
4 測量成果等は、原則としてあらかじめ計画機関が定める様式に従って電磁的記録媒体で提出するものとする。
5 計画機関は、第1項の規定により測量成果等の提出を受けたときは、速やかに当該測量成果等の精度、内容等を検査しなければならない。
6 測量成果等において位置を表示するときは、世界測地系によることを表示するものとする。

準則⑨

第2編 基準点測量
第1章 通則
第1節 要旨
(要旨)
第 18 条 本編は基準点測量の作業方法等を定めるものとする。
2「基準点測量」とは、既知点に基づき、基準点の位置又は標高を定める作業をいう。
3「基準点」とは、測量の基準とするために設置された測量標であって、位置に関する数値的な成果を有するものをいう。
4「既知点」とは、既設の基準点(既設点)であって、基準点測量の実施に際してその成果が与件として用いられるものをいう。
5「改測点」とは、基準点測量により改測される既設点であって、既知点以外のものをいう。
6「新点」とは、基準点測量により新設される基準点(新設点)及び改測点をいう。
(基準点測量の区分)
第 19 条 基準点測量は、水準測量を除く狭義の基準点測量(基準点測量)と水準測量とに区分するものとする。
2 基準点は、水準測量を除く狭義の基準点測量によって設置される狭義の基準点(基準点)と水準測量によって設置される水準点とに区分するものとする。
第2節 製品仕様書の記載事項
(製品仕様書)
第 20 条 製品仕様書は当該基準点測量の概覧、適用範囲、データ製品識別、データ内容及び構造、参照系、データ品質、データ製品配布、メタデータ等について体系的に記載するものとする。

準則⑩

第2章 基準点測量
第1節 要旨
(要旨)

第 21 条「基準点測量」とは、既知点に基づき、新点である基準点の位置を定める作業をいう。
2 基準点測量は、既知点の種類、既知点間の距離及び新点間の距離に応じて、1級基準点測量、2級基準点測量、3級基準点測量及び4級基準　点測量に区分するものとする。
3 1級基準点測量により設置される基準点を1級基準点、2級基準点測量により設置される基準点を2級基準点、3級基準点測量により設置される基準点を3級基準点及び4級基準点測量により設置される基準点を4級基準点という。
4 GNSSとは、人工衛星からの信号を用いて位置を決定する衛星測位システムの総称で、GPS、GLON ASS、Galileo及び準天頂衛星等の衛星測位システムがある。GNSS測量においては、GPS及びGLONASSを適用する。

（既知点の種類等）
第 22 条 前条第2項に規定する基準点測量の各区分における既知点の種類、既知点間の距離及び新点間の距離は、次表を標準とする。

準則⑪

（基準点測量の方式）
第 23 条 基準点測量は、次の方式を標準とする。
一 1級基準点測量及び2級基準点測量は、原則として、結合多角方式により行うものとする。
二 3級基準点測量及び4級基準点測量は、原則として、結合多角方式又は単路線方式により行うものとする。
2 結合多角方式の作業方法は、次表を標準とする。

準則⑫

（工程別作業区分及び順序）
第 24 条 工程別作業区分及び順序は、次のとおりとする。
一 作業計画
二 選点
三 測量標の設置
四 観測
五 計算
六 品質評価
七 成果等の整理
第2節 作業計画
（要旨）
第 25 条 作業計画は、第11条の規定によるほか、地形図上で新点の概略位置を決定し、平均計画図を作成する。

準則⑬

第4節 測量標の設置
（要旨）
第 31 条 本章において「測量標の設置」とは、新点の位置に永久標識を設ける作業をいう。
（永久標識の設置）
第 32 条 新点の位置には、原則として、永久標識を設置し、測量標設置位置通知書（法第39条で読み替える法第 21 条1項に基づき通知する文書をいう。）を作成するものとする。
2 永久標識の規格及び設置方法は、付録5によるものとする。
3 設置した永久標識については、写真等により記録するものとする。
4 永久標識には、必要に応じ固有番号等を記録したICタグを取り付けることができる。
5 3級基準点及び4級基準点には、標杭を用いることができる。
（点の記の作成）
第 33 条 設置した永久標識については、点の記を作成するものとする。

準則⑭

第5節 観測
（要旨）
第 34 条 本章において「観測」とは、平均図等に基づき、トータルステーション（データコレクタを含む。「TS」）、セオドライト、測距儀等（TS等）を用いて、関係点間の水平角、鉛直角、距離等を観測する作業（TS等観測）及び GNSS 測量機を用いて、GNSS 衛星等からの電波を受信し、位相データ等を記録する作業（GNSS 観測）をいう。
2 GNSS 観測は、GNSS 以外の測位衛星からの電波を受信し、位相データを記録する作業を含むものとする。
3 観測は、TS等及び GNSS 測量機を併用することができる。
4 観測に当たっては、必要に応じ、測標水準測量を行うものとする。
（機器）
第35条 観測に使用する機器は、次表に掲げるもの又はこれらと同等以上のものを標準とする。

準則⑮

（機器の点検及び調整）
第 36 条 観測に使用する機器の点検は、観測着手前及び観測期間中に適宜行い、必要に応じて機器の調整を行うものとする。
（観測の実施）
第 37 条 観測に当たり、計画機関の承認を得た平均図に基づき、観測図を作成するものとする。
2 観測は、平均図等に基づき、次に定めるところにより行うものとする。

一 TS等の観測及び観測方法は、次表のとおりとする。ただし、水平角観測において、目盛変更が不可能な機器は、1対回の繰り返し観測を行うものとする。

二 GNSS 観測は、干渉測位で行う。

イ GNSS 測量機を用いる場合次のように行う。

観測方法	観測時間	データ取得観測	基準点測量
スタティック法	120 分以上	30 秒以下	1 級(10km以上※1)
	60 分以上	30 秒以下	1 級(10km未満)2～4 級
短縮スタティック法	20 分以上	15 秒以下	3～4 級
キネマティック法	10 秒以上※2	5 秒以下	3～4 級
RTK 法	10 秒以上※3	1 秒	3～4 級
ネットワーク型 RTK 法	10 秒以上※3	1 秒	3～4 級
備考	※1 観測距離が10km以上の場合は、1 級 GNSS 測量機により 2 周波により観測をおこなう。ただし、接点を設けて観測距離を 10km未満のすることで、2 級 GNSS 測量機により観測を行うこともできる。		
	※2 10 エポック以上のデータが取得できる時間とする。		
	※3 FIX 解を得てから 10 エポック以上のデータが所得できる時間とする。		

ロ 観測方法による使用衛星数

観測方法 / GNSS 衛星の組み合わせ		スタティック法	短縮スタティック キネマティック RTK ネットワーク型 RTK
GPS 衛星のみ		4 衛星以上	5 衛星以上
GPS 衛星・GLONASS		5 衛星以上	6 衛星以上
摘要	①GLONASS を用いて観測の場合、GPS･GLONASS をそれぞれ2衛星使用する。		
	②GLONASS の場合、同一メーカーの GNSS を使用		
	③スタティック法による 10km以上の観測では、GPS のみの場合は5衛星以上、GPS と GLONASS の場合6衛星以上とする。		

リ RTK 法は、固定局及び移動局で同時に GNSS 衛星からの信号を受信し、固定局で取得した信号を、無線装置等を用いて移動局に転送し、移動局側において即時に基線解析を行うことで、固定局と移動局の間の基線ベクトルを求める。その後、移動局を複数の観測点に次々と移動して、固定局と移動局の間の基線ベクトルを即時に求める観測方法である。なお、基線ベクトルを求める方法は、直接観測法又は間接観測法による。

ヌ ネットワーク型RTK法は、配信事業者(国土地理院の電子基準点網の観測データ配信を受けている者又は、3点以上の電子基準点を基に、測量に利用できる形式でデータを配信している者をいう。以下同じ。)で算出された補正データ等又は面補正パラメータを、携帯電話等の通信回線を介して移動局で受信すると同時に、移動局でGNSS衛星からの信号を受信し、移動局側において即時に解析処理を行って位置を求める。その後、複数の観測点に次々と移動して移動局の位置を即時に求める観測方法である。
配信事業者からの補正データ等又は面補正パラメータを通信状況により取得できない場合は、観測終了後に解析処理を行うことができる。なお、基線ベクトルを求める方法は、直接観測法又は間接観測法による。

準則⑯

第 39 条
一 GNSS観測 において、偏心要素のための零方向の視通が確保できない場合は、方位点を設置することができる。
二 GNSS観測における方位点の設置距離は 200m以上とし、偏心距離の4倍以上を標準とする。なお、観測は第 37 条第2項第二号の規定を準用する。
三 偏心角の測定は、次表を標準とする。

準則⑰

第 41 条4項四号
気象要素の補正は、基線解析ソフトウェアで採用している標準大気によるものとする。

準則⑱

第 42 条1項2号イ
(1) 点検路線は、異なるセッションの組み合わせによる最少辺数の多角形を選定し、基線ベクトルの環閉合差を計算する方法
(2) 重複する基線ベクトルの較差を比較点検する方法

準則⑲

第 43 条 2 項 1 号
一仮定三次元網平均計算の重量(P)は、次のいずれかの分散・共分散行列の逆行列を用いるものとする。
イ　基線解析により求められた分散・共分散の値
ただし、すべての基線の解析手法、解析時間が同じ場合に限る。
水平及び高さの分散
ロ　ただし、分散の固定値は、dN ＝(0.004m)2　dE ＝(0.004m)2　dU ＝(0.007m)2 とする。

準則⑳

第 101 条　補備測量は、次のとおり行うものとする。
2　現地において確認及び補備すべき事項は、次のとおりとする。
一　編集作業で生じた疑問事項及び重要な表現事項
二　編集困難な事項
三　現地調査以降に生じた変化に関する事項
四　境界及び注記
五　各種表現対象物の表現の誤り及び脱落
3　現地において実施する補備測量は、基準点、TS点及び編集済データに表現されている確実かつ明確な点に基づいて行うものとする。
4　補備測量の結果は、図形編集装置等の図形編集機能を用いて編集及び修正するものとする。

測量士

〔No.21〕航空レーザ測量

（三次元計測データの点検）
第 288 条　三次元計測データの点検は、調整用基準点を用いて比較点検をする。
2　調整用基準点と三次元計測データとの比較点検は、次のとおりとする。
一　調整用基準点と比較する三次元計測データは、所定の格子間隔と同一半径の円又は2倍辺長の正方形内の計測データを平均したものとする。
二　調整用基準点と三次元計測データとの較差を求めるものとする。
三　全ての調整用基準点における較差の平均値と標準偏差を求めることを標準とする。
四　点検結果は、三次元計測データ点検表及び調整用基準点調査表に整理するものとする。
五　平均値（m）と標準偏差（σ）は、次の計算式で求めるものとする。

$$m = \sum \frac{\Delta H_i}{n} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum(\Delta H_i - m)^2}{n}}$$

ΔH_i:調整用基準点の標高値と三次元計測データの較差
n:点数

（写真地図データの作成）
第 291 条　写真地図データの作成は、三次元計測データ等を用いて航空レーザ用数値写真の正射変換を行い作成するものとする。
2　写真地図データの作成は、次のことに留意し作成するものとする。
一　写真地図データは、正射変換した航空レーザ用数値写真を貼り合わせ、国土基本図図郭単位に作成することを原則とする。
二　写真地図データの形式は、TIFF形式とする。
三　写真地図データの作成時には、製品仕様書に従ってASCIIファイルで写真地図データの地理的範囲を表す位置情報ファイルを作成するものとする。

（グラウンドデータの作成）
第 297 条　グラウンドデータは、オリジナルデータのうち地表面の標高を示すデータをいい、オリジナルデータからフィルタリングを行い作成するものとする。
2　グラウンドデータは、作業地域の外周を 50m以上延伸して作成するものとする。
3　「フィルタリング」とは、地表面以外のデータを取り除く作業をいう。対象項目は、次表を標準とする。

交通施設	道路施設	道路橋（5m以上）、高架橋、信号灯、道路情報板等
	鉄道施設	鉄道橋（5m以上）、高架橋（モノレール含む）、跨線橋、プラットホーム、プラットホーム上屋、架線支柱、信号灯支柱
	移動体	駐車車両、鉄道車両、船舶
建物等	建物及び付属施設	一般住宅、工場、倉庫、公共施設、駅舎、無壁舎（温室、ビニールハウス）、競技場のスタンド、門、プール（土台部分含む）、へい
小物体		記念碑、鳥居、貯水槽、肥料槽、給水塔、起重機、煙突、高塔、電波塔,灯台、灯標、輸送管（地上、空間）、送電線
水部等	水部に関する構造物	浮き桟橋、水位観測施設、河川表示板
植生		樹木 1、竹林 1、生垣 1
その他	その他	大規模な改変工事中の地域 2、地下鉄工事の開削部、資材置き場等の材料、資材
備考		1　地表面として、判断できる部分は可能な限り採用
		2　地表面として、ほぼ恒久的であると判断できるものは採用

4　大規模な地表遮蔽部分のフィルタリングにおいて、地形表現に不具合が生じる場合は、周囲のフィルタリングしていないグラウンドデータ等を用いて内挿補間を行うものとする。

（フィルタリング点検図の作成）
第 299 条　フィルタリング点検図は、フィルタリングが適切に行われたか否か、作成されたグラウンドデータの異常の有無について点検するために作成するものとする。
2　フィルタリング点検図は、「写真地図データ及び等高線データの重ね合せ図」及び「写真地図データ、オリジナルデータ及び水部ポリゴンの重ね合せ図」の2種類を作成するものとする。ただし、写真地図データが作成されていない場合は、写真地図データに代えてオリジナルデータから作成された陰影段彩図等とすることができる。
3　フィルタリング点検図は、国土基本図図郭単位で作成するものとする。
4　フィルタリング点検図は、格子間隔の地図情報レベルに対応した縮尺で出力するものとする。
5　「写真地図データ及び等高線データの重ね合せ図」における等高線の間隔及び色区分は、次表を標準とする。また、計曲

線には等高線データ数値を付加し、凹地については凹地記号をそれぞれ付加するものとする。

（観測の実施）
第37条 観測に当たり、計画機関の承認を得た平均図に基づき、観測図を作成するものとする。
2 観測は、平均図等に基づき、次に定めるところにより行うものとする。
一 TS等の観測及び観測方法は、次表のとおりとする。ただし、水平角観測において、目盛変更が不可能な機器は、1対回の繰り返し観測を行うものとする。

ヌ ネットワーク型RTK法は、配信事業者（国土地理院の電子基準点網の観測データ配信を受けている者又は、3点以上の電子基準点を基に、測量に利用できる形式でデータを配信している者をいう。以下同じ。）で算出された補正データ等又は面補正パラメータを、携帯電話等の通信回線を介して移動局で受信すると同時に、移動局でGNSS衛星からの信号を受信し、移動局側において即時に解析処理を行って位置を求める。その後、複数の観測点に次々と移動して移動局の位置を即時に求める観測方法である。
配信事業者からの補正データ等又は面補正パラメータを通信状況により取得できない場合は、観測終了後に解析処理を行うことができる。なお、基線ベクトルを求める方法は、直接観測法又は間接観測法による。
(1) 直接観測法は、配信事業者で算出された移動局近傍の任意地点の補正データ等と移動局の観測データを用いて、基線解析により基線ベクトルを求める観測方法である。
(2) 間接観測法は、次の方式により基線ベクトルを求める観測方法である。
(ⅰ) 2台同時観測方式による間接観測法は、2か所の移動局で同時観測を行い、得られたそれぞれの三次元直交座標の差から移動局間の基線ベクトルを求める。
(ⅱ) 1台準同時観測方式による間接観測法は、移動局で得られた三次元直交座標とその後、
速やかに移動局を他の観測点に移動して観測を行い、得られたそれぞれの三次元直交座標の差から移動局間の基線ベクトルを求める。なお、観測は、速やかに行うとともに、必ず往復観測（同方向の観測も可）を行い、重複による基線ベクトルの点検を実施する。
(3) 3級～4級基準点測量は、直接観測法又は間接観測法により行うものとする。